

# **Viabilidad de un sistema de alerta de emergencia en la mar con pintura electroluminiscente**

## **Trabajo de Final de Grado**



Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

**Alberto Giménez Jara**

Dirigido por:

**Sergio Velásquez Correa**

Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval

Barcelona, 10/05/20

Departamento de Ciencias e Ingeniería Náutica







---

## AGRADECIMIENTOS

Al tutor de mi Trabajo de Fin de Grado, Sergio Velásquez Correa, gracias por guiarme a través de un laberinto de normas y recomendaciones, siempre en la dirección deseada.

También agradezco el esfuerzo para mantener mi atención, adormecida por las mañanas y dispersa por las tardes, por parte de todos los docentes del grado. Al menos, los conocimientos aplicados en este trabajo, han demostrado ser más que un mero trámite para acumular horas lectivas.

También agradezco el interés de compañeros, que mostraban su incredulidad al oír *pintura que se ilumina* y sus respetos al loco que había elegido un tema tan *original*.

Amigos míos, tan inteligentes como descarriados, por todas las veces que habéis oído la misma excusa y porque vuestra insistencia en que acabe el TFG también me ha motivado. Gracias de corazón, aunque dudo que alguno lea más allá de la portada.

Al profesor Pascual Segura, fundador y director del Centro de Patentes de Barcelona, gracias por abrirme las puertas del interesantísimo mundo de las patentes. Es muy alentador encontrar a gente que presta ayuda y conocimiento desinteresadamente.

Por vuestro interés, apoyo y sabiduría, sois lo primero, el pilar sin el cual todo tambalea. Mil gracias a mi familia.

## OBJETO DEL TFG

El trabajo de fin de grado TFG tiene como objeto la aplicación de las capacidades individuales adquiridas durante el proceso formativo seguido durante los estudios, tratándose de un ejercicio integrador o de síntesis de los estudios para consolidar la formación recibida. El contenido del TFG debe ser original, nuevo o novedoso.

La carga lectiva del TFG corresponde a 24 créditos, equivalente a 720 horas de trabajo.

El estudiante presenta una propuesta de TFG describiendo los objetivos que deberán alcanzarse para una posterior realización, presentación y defensa del trabajo. La realización del TFG es dirigida por un profesor que imparte docencia en el centro.

---

## RESUMEN

El presente trabajo estudia la viabilidad de tres aplicaciones diferentes de pintura electroluminiscente (PEL) en el ámbito naval, con el objetivo de substituir o complementar las bengalas de mano como dispositivo de alerta de emergencias.

Se ha realizado un estudio superficial de la luminiscencia, la fotometría, la pintura electroluminiscente y los sustratos en el ámbito de las embarcaciones de recreo. Se ha dimensionado un sistema conforme a la Norma ISO 10133:2018 y Norma ISO 13297:2019 para la aplicación de la PEL en el ámbito de las embarcaciones de recreo. Se ha considerado la curvatura de la tierra y el rendimiento de la señal luminosa para obtener el alcance de esta. Se ha diseñado un código característico para la alerta de emergencias usando PEL. En el presente estudio, se ha considerado determinante el peso y el coste de los materiales del sistema, para evaluar su viabilidad.

Tras el análisis y comparación de los resultados, se propone la complementación mediante PEL a la pirotecnia obligatoria reglada por la Resolución MSC 81 (70). En su aplicación en mástil, debido a una mayor altura de señal, la PEL proporciona mayores rangos visuales que una bengala de mano, para observadores a poca altura. El rango visual de la PEL se encuentra limitado por el rendimiento, actualmente en vías de desarrollo. Por otro lado, se ha valorado positivamente la duración del servicio que proporciona, respecto la pirotecnia usada en la actualidad.

## ABSTRACT

This project aims to analyse the viability of three different uses of electroluminescent paint (ELP) in the naval field. The objective of its application is to substitute or complement the hand flares as emergency alert device.

It has been done a brief study of the luminescence, the photometry, the electroluminescent paint and the substrate in the pleasure craft field. A system of ELP applied to pleasure crafts has been designed according to ISO 10133:2018 and ISO 13297:2019 standards. It has been taken into account both the Earth curvature and the efficiency of the light signal to obtain its range. A characteristic code for emergencies alert system using ELP has been designed. Finally, it has been heeded to the weight and cost of the system elements in order to assess its viability.

Once the results have been analysed and compared, it has been proposed the use of ELP to complement the mandatory pyrotechnics regulated by the MSC 81(70) Resolution. In the mast application, due to a considerable signal height, the ELP provides larger visual range than hand flares (for short height observers). Nowadays, the ELP visual range is being developed, so it is limited by the efficiency. On the other hand, the autonomy of the system has been positively valued (if compared to the current pyrotechnics).



---

## ÍNDICE

Agradecimientos .....	iii
Objeto del TFG .....	iv
Resumen .....	v
Abstract.....	vi
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Capítulo 1. Introducción .....	1
1.1 Objeto del trabajo .....	1
1.2 Antecedentes .....	1
1.2.1 Legislación .....	1
1.2.2 Electroluminiscencia .....	3
Capítulo 2. Conceptos Fundamentales .....	7
2.1 Luminiscencia.....	7
2.1.1 Radiación .....	7
2.1.2 Tiempo característico de emisión.....	9
2.2 La comunicación .....	9
2.3 IALA.....	10
2.4 Rango Geográfico .....	11
2.5 Fotometría, espectrometría y radiometría .....	12
2.5.1 Contraste .....	12
2.5.2 Transmisividad atmosférica .....	12
2.5.3 Alcance luminoso .....	13
2.5.4 Alcance nominal.....	13
2.5.5 Fotometría de señales de navegación por luz .....	13
Capítulo 3. Elementos del sistema .....	17
3.1 Requisitos generales .....	18
3.2 Batería.....	19
3.2.1 Dimensionamiento de la batería.....	20
3.3 Inversor .....	20

3.4	Conductores .....	22
3.4.1	Corriente continua .....	23
3.4.2	Corriente alterna .....	23
3.5	Protección contra la sobreintensidad.....	24
3.5.1	Instalaciones de corriente continua.....	24
3.5.2	Instalaciones de corriente alterna .....	24
3.6	Conexiones de cableado y terminales.....	25
3.7	RCD. Protección contra el fallo de puesta a masa/fuga a tierra .....	26
3.8	Protección contra la inflamación.....	26
Capítulo 4.	Pintura electroluminiscente PEL .....	27
4.1	Panel LEC .....	27
4.2	Patente .....	27
4.2.1	Método de producción.....	28
4.2.2	Documentación técnica y de seguridad .....	32
4.2.3	Intensidad luminosa .....	34
Capítulo 5.	Elementos contenedores y sustratos del sistema .....	37
5.1	Balsa salvavidas.....	37
5.1.1	Cálculo de superficie.....	38
5.2	Casco .....	40
5.2.1	Cálculo de superficie.....	40
5.3	Mástil.....	41
5.3.1	Cálculo de superficie.....	41
Capítulo 6.	Aplicación y dimensionamiento de la señal luminosa .....	43
6.1	Rango geográfico .....	43
6.2	Diseño de la señal luminosa marítima.....	46
6.2.1	Destello característico de la señal.....	46
6.2.2	IALA serie de recomendaciones E-200. Señales Luminosas Marítimas .....	47
6.2.3	Color de la señal .....	50
6.2.4	Estimación del rendimiento de elementos ópticos .....	52
6.2.5	Determinación y cálculo de la intensidad luminosa.....	54

6.2.6	Cálculo, definición y notación del alcance luminoso .....	58
6.3	Resultados .....	66
Capítulo 7.	Peso y costes.....	71
7.1	Peso del sistema PEL .....	71
7.2	Costes del sistema PEL .....	72
Capítulo 8.	Resultado: comparativa con bengalas de mano .....	75
8.1	Duración del servicio .....	75
8.2	Riesgos de uso.....	75
8.3	Producción .....	75
8.4	Destello característico .....	75
8.5	Rango geográfico .....	75
8.6	Rendimiento .....	76
8.7	Rango visual.....	76
8.7.1	Observador a 2,5 metros de altura.....	76
8.7.2	Observador a 300 metros de altura.....	77
8.8	Peso .....	77
8.9	Coste.....	78
Capítulo 9.	Conclusiones.....	79
	Bibliografía.....	81
Anexo 1	Glosario.....	83
Anexo 2	Salvamento Marítimo .....	85
Anexo 3	H.J. Round .....	89
Anexo 4	Normas ISO .....	91
Anexo 5	Dimensionamiento y regresiones.....	93
Anexo 6	Destello característico.....	99
Anexo 7	Código y gráficas de la convolución .....	101
Anexo 8	Rendimiento de la señal luminosa .....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de transmisividad atmosférica asociados al tiempo – IALA AISM.....	12
Tabla 2 Definición y unidades de términos fotométricos.....	14
Tabla 3 Dimensionamiento de la batería de un sistema .....	20
Tabla 4 Fuerzas de tracción – AENOR .....	25
Tabla 5 Propiedades de la PEL según la presente invención – Darkside Scientific, LLC .....	33
Tabla 6 Características de una balsa salvavidas para navegación de altura – ISO 9650-1.....	38
Tabla 7 Rango geográfico en función de la altura del observador y la elevación de la marca.....	44
Tabla 8 Rango geográfico para dos alturas de observador .....	46
Tabla 9 Regiones cromáticas óptimas recomendadas – IALA AISM .....	51
Tabla 10 Alcance luminoso nocturno de PEL comercializada .....	65
Tabla 11 Alcance luminoso nocturno y alcance nominal nocturno y diurno para diferentes aplicaciones de PEL.....	67
Tabla 12 Rango visual de la señal luminosa para un observador a 2,5 metros de altura .....	68
Tabla 13 Rango visual de la señal luminosa para un observador a 300 metros de altura .....	69
Tabla 14 Pesos del sistema PEL .....	71
Tabla 15 Costes de los materiales del sistema.....	73
Tabla 16 Contraprestaciones a Salvamento Marítimo 1 – BOE .....	85
Tabla 17 Contraprestaciones a Salvamento Marítimo 2 – BOE .....	85
Tabla 18 Contraprestaciones a Salvamento Marítimo 3 – BOE .....	86
Tabla 19 Área de la sección transversal de conductor, intensidad máxima admisible y número mínimo de hebras metálicas – ISO 10133 e ISO 13297 .....	92
Tabla 20 Muestreo aleatorio de esloras, en metros – Propia (datos obtenidos de <i>Cosas de Barcos</i> ) .....	93
Tabla 21 Coordenadas de los puntos de dispersión de la relación $h_o$ (LOA) – Propia (datos obtenidos de <i>Boat Specs</i> ) .....	94
Tabla 22 Coordenadas de los puntos de dispersión de la relación $L_M$ (LOA) – Propia (datos obtenidos de <i>Boat specs</i> ) .....	95
Tabla 23 Regresión $h_{mástil}(L)$ .....	96
Tabla 24 Secciones de mástil – Principles of yachts design .....	98
Tabla 25 Luminancia de fondo asociada a las condiciones meteorológicas – IALA AISM.....	105

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Área de actuación de SASEMAR – Salvamento Marítimo .....	2
Figura 1.2 Pintura electroluminiscente apagada (izquierda) y encendida (derecha) .....	5
Figura 2.1 Muestra de cemento de calcita (izquierda) y ensayo con catodoluminiscencia de dicha muestra (derecha) – Departamento de Petrología y Geoquímica de la Universidad Complutense de Madrid .....	8
Figura 2.2 Efecto de exceder el rango geográfico – IALA AISM .....	11
Figura 2.3 Distribuciones de sensibilidad espectral o $V(\lambda)$ y $V'(\lambda)$ Curvas para el Observador Humano – IALA AISM .....	14
Figura 2.4 Representación gráfica de la ley del cuadrado inverso – IALA AISM .....	15
Figura 3.1 Observación del sistema PEL en dos sustratos (mástil y casco) .....	17
Figura 3.2 Etiqueta de advertencia sobre el peligro de choque eléctrico – AENOR .....	21
Figura 3.3 Opción de ubicación de la protección contra la sobreintensidad para un circuito de batería sencilla sin interruptor de arranque – AENOR .....	24
Figura 4.1 Diagrama de flujo de un procedimiento de producción de lámparas electroluminiscentes según una realización de la presente invención .....	28
Figura 4.2 Diagrama esquemático de las capas de una lámpara electroluminiscente según una realización de la presente invención – Darkside Scientific, LLC .....	30
Figura 4.3 PEL aplicada en el fuselaje de un AIRBUS A350 – Businesswire .....	32
Figura 5.1 Dimensiones de la balsa salvavidas .....	39
Figura 6.1 Representación de los rangos geográficos máximo (izquierda) y mínimo (derecha) en una travesía de Barcelona a las Islas Baleares .....	45
Figura 6.2 Representación de los rangos geográficos intermedios para el caso 2 (izquierda) y caso 1 (derecha) en una travesía de Barcelona a Islas Baleares .....	45
Figura 6.3 Destello característico de la señal PEL .....	47
Figura 6.4 Esquema de la serie E-200 de documentos – IALA AISM .....	49
Figura 6.5 Zonas de color en el diagrama de cromaticidad – CIE 1931 .....	50
Figura 6.6 Regiones de cromaticidad de los colores recomendados por IALA para señales luminosas en términos del sistema colorimétrico normalizado – CIE 1931 .....	51
Figura 6.7 Coordenadas de color de fósforos en paneles LEC – Electroluminescence Light Sources, Tim Pohle .....	52
Figura 6.8 Señal $I(t)$ de 22,435 cd de amplitud y 4 s de semiperiodo .....	56
Figura 6.9 Curva $q(t)$ modificada, inversa .....	57
Figura 6.10 Perfil del destello con la convolución que resulta empleando el método modificado de Allard – IALA AISM .....	57
Figura 6.11 Convolución entre la intensidad luminosa instantánea y la curva de respuesta visual de Allard modificada .....	58

Figura 6.12 Cálculo de los alcances luminosos (rojo) y nominal (azul) nocturnos, mediante el diagrama de alcance luminoso nocturno. En verde y discontinuo se muestra el alcance luminoso nocturno para poca corrección de iluminación de fondo.....	61
Figura 6.13 Cuadro de alcances nominales nocturnos – IALA AISM.....	62
Figura 6.14 Escala auxiliar para la compensación de la iluminación de fondo – IALA AISM.....	62
Figura 6.15 Diagrama del alcance luminoso diurno – IALA AISM.....	64
Figura 6.16 Cuadro de alcances nominales diurnos – IALA AISM.....	65
Figura 2.1 Personas atendidas en el año – SASEMAR .....	86
Figura 2.2 Personas atendidas por embarcación – SASEMAR .....	86
Figura 2.3 Personas atendidas en el mes – SASEMAR .....	87
Figura 2.4 Personas fallecidas – SASEMAR .....	87
Figura 2.5 Embarcaciones asistidas – SASEMAR.....	88
Figura 2.6 Accidentes mortales – SASEMAR .....	88
Figura 3.1 Publicación de la carta enviada por H.J. Round desde Nueva York anunciando haber observado el fenómeno de la luminiscencia – Electrical World (1907) .....	89
Figura 4.1 Señales de aviso sugeridas .....	91
Figura 4.2 Señal de aviso sugerida con el texto en la lengua apropiada para el país de uso – AENOR ....	91
Figura 5.1 Regresión $L_M(L)$ .....	96
Figura 5.2 Regresión $B(L)$ .....	97
Figura 7.1 Convolución obtenida a partir de las señales $I(t)$ y $q(t)$ , en MATLAB.....	101
Figura 8.1 Transmisividad atmosférica $T_m$ en función de la visibilidad meteorológica $V$ – IALA AISM ....	103
Figura 8.2 Diagrama del alcance luminoso nocturno – IALA AISM.....	104
Figura 8.3 Diagrama del alcance luminoso nocturno para la PEL en desarrollo.....	106
Figura 8.4 Diagrama del alcance luminoso nocturno para bengalas de mano .....	107
Figura 8.5 Diagrama del alcance luminoso nocturno para balsa salvavidas.....	108
Figura 8.6 Diagrama del alcance luminoso nocturno para el casco de la embarcación.....	109
Figura 8.7 Diagrama del alcance luminoso nocturno para el mástil.....	110

---

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Objeto del trabajo

El objeto del presente trabajo es determinar la viabilidad del uso de pintura electroluminiscente en la navegación de recreo, una actividad que muestra índices elevados de vulnerabilidad ante situaciones de emergencia. Con la aplicación de dicha tecnología, se persigue complementar o substituir los tradicionales métodos visuales para la detección de emergencias, como el material pirotécnico.

Para ello se considera que el sistema debe ser eficaz y ecoeficiente<sup>1</sup>:

- **Eficaz:** si el sistema logra facilitar la localización de emergencias y salvar vidas.
- **Ecoeficiente:** el sistema debe reducir los recursos que precisa una búsqueda en el mar y su impacto medioambiental, minimizando los tiempos de dichas búsquedas. La producción del propio sistema también debe ser ecoeficiente, por lo que en su diseño se procurara, en la medida de lo posible:
  - La reducción en la intensidad material de bienes y servicios.
  - La reducción en la intensidad energética de bienes y servicios.
  - La dispersión reducida de materiales tóxicos.
  - La posibilidad de ser reciclado.
  - El uso de recursos renovables.
  - La durabilidad del producto.
  - La mayor intensidad del servicio.

### 1.2 Antecedentes

#### 1.2.1 Legislación

La aplicación de este sistema se produce en un contexto en que la seguridad y protección de la navegación está regulada por la Organización Marítima Internacional (OMI)<sup>2</sup>. Su convenio SOLAS<sup>3</sup>, en sus versiones sucesivas, se considera el tratado internacional relativo a la seguridad de los buques mercantes más importante. La primera versión de dicho convenio se adoptó en 1914, en consecuencia a la catástrofe del Titanic. La versión vigente es la quinta (1974), que incluye el procedimiento de aceptación tácita.

---

<sup>1</sup> Ecoeficiencia: término definido por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD).

<sup>2</sup> Agencia especializada de la ONU. Fundada en 1959, con sede en Londres (Reino Unido).

<sup>3</sup> Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar.

En 1976 la OMI aprobó el sistema A<sup>4</sup> de la IALA<sup>5</sup> con el objetivo de homogeneizar la señalización marítima internacional. Actualmente, esta asociación determina los estándares y las características técnicas de la señalización y boyado en el mar.

En el Estado español actúa Salvamento Marítimo (SASEMAR)<sup>6</sup>, con el propósito de proteger la vida en el mar de personas, flora y fauna. Salvamento Marítimo atiende una media de 15000 personas y 3000 buques anuales<sup>7</sup> en un área de responsabilidad de un millón y medio de kilómetros, equivalente a tres veces el territorio nacional. Entre las emergencias más atendidas se encuentran buques a la deriva, accidentes por actividad recreativa, varadas, inmigración irregular, caída de personas al agua desde tierra o accidentes durante la realización de actividades subacuáticas.



Figura 1.1 Área de actuación de SASEMAR – Salvamento Marítimo

La contraprestación de los servicios prestados por Salvamento y Seguridad Marítima se define en la Orden FOM/1634/2013 del 30 de agosto, publicada en el BOE núm. 219, de 12 de septiembre de 2013. En el Anexo 2, se detalla el importe de la contraprestación de una operación, que será el resultado de aplicar la ecuación ( 1):

<sup>4</sup> Sistema A: sistema de balizamiento aplicado a Europa, África, Oceanía y Asia excluidos Japón, Corea y Filipinas.

<sup>5</sup> IALA: Asociación Internacional de Señalización Marítima (AISM), formada en 1957 con el fin de respaldar los objetivos de las conferencias técnicas sobre señalización que se habían producido desde 1929.

<sup>6</sup> Entidad Pública Empresarial adscrita al Ministerio de Fomento a través de la Dirección General de la Marina Mercante, creada en 1992 por la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante con su posterior entrada en funcionamiento en 1993.

<sup>7</sup> Estadísticas obtenidas de la página web de SASEMAR en el Anexo 2.



$$I = \sum(T \cdot t \cdot B \cdot S) \quad (1)$$

Donde:

I: Importe de la contraprestación. Es igual a la suma de los importes de las n unidades participantes.

T: Tarifa de la unidad que realiza el servicio. El valor se determina en la Tabla 16 en el Anexo 2 y sus unidades son €/h. La tarifa de la unidad se obtiene considerando el gasto de combustible y el trabajo de la tripulación.

t: tiempo empleado en el servicio.

B: coeficiente corrector. El valor de B se obtiene de la Tabla 17 del Anexo 2.

S: Ajuste progresivo de las tarifas. S = 1 desde 2015. Obtenido de la Tabla 18 del Anexo 2.

Se puede apreciar que la contraprestación de una operación de Salvamento depende en gran medida de las unidades desplazadas y es directamente proporcional al tiempo que dura la operación.

El tiempo de duración de una operación no solo es determinante para calcular el coste que ésta pueda tener, SASEMAR considera que en menos de 15 minutos un buque puede llegar a hundirse. Para la rápida localización de la emergencia, se usan señales visuales de socorro clasificadas en: útiles para distancias cortas (bengalas de mano) o distancias medias (cohetes y botes fumígenos). Asimismo, Salvamento Marítimo resalta los riesgos que conlleva usar medios pirotécnicos y la posibilidad de provocar quemaduras y recomienda un uso moderado y responsable.

Los procedimientos de evaluación de la conformidad de artefactos pirotécnicos están detallados por el convenio SOLAS tal y como especifica el *Real Decreto 701/2016, de 23 de diciembre, por el que se regulan los requisitos que deben cumplir los equipos marinos destinados a ser embarcados en los buques*. Esta ley convierte en obligado cumplimiento el ensayo de bengalas de mano conforme determina la Resolución MSC 81(70) de la OMI, por la cual una bengala de mano debe arder con una intensidad lumínica media de 15.000 cd como mínimo y el color de la llama debe ser un rojo intenso. Este valor se ha tomado como requisito para considerar la eficacia de un sistema de alerta de emergencia en la mar con pintura electroluminiscente.

### 1.2.2 Electroluminiscencia

El efecto de la electroluminiscencia (EL) fue registrado por primera vez por H.J. Round<sup>8</sup>, tal y como quedó publicado el 9 de febrero de 1907 en la revista *Electrical World*<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> Capitán Henry Joseph Round (2 de junio de 1881, Kingswinford, Staffordshire, Inglaterra-17 de agosto de 1966, Bognor Regis, Reino Unido) ingeniero del ejército británico en la primera guerra mundial, asistente de Guillermo Marconi y uno de los primeros pioneros de la radio.

<sup>9</sup> En el Anexo 3 se puede ver un recorte de la revista original digitalizada.

En ella, H.J. Round exponía haber observado un fenómeno curioso durante una investigación debido al paso asimétrico de corriente a través de un “Carborundun” (carburo de silicio), entre otras sustancias. Afirmaba que aplicando 10 V entre dos puntos de un cristal de SiC (carburo de silicio), el cristal producía un resplandor amarillento. Solo algunos especímenes brillaron con fuerza a esa tensión, pero al aumentarla a 110 voltios el número de especímenes que brillaron aumentó considerablemente. Aseguraba que en algunos cristales brillaba solo el borde, en otros la luz emitida era verde, naranja o azul y no amarilla. Observaba que en todos los casos probados el brillo parece provenir del polo negativo y una chispa verde azulada aparece en el polo positivo. También contemplaba que al situar el polo negativo en el centro de un cristal de SiC y el positivo en cualquier otra parte del mismo cristal, solo se iluminó la sección del cristal entre el negativo y el positivo.

Finalmente, suponía una conexión entre el efecto anteriormente descrito y la fuerza electromotriz producida por la unión de SiC y otro conductor cuando se calientan por medio de una corriente continua o alterna, pero asumía que esta conexión podía ser únicamente secundaria como una explicación obvia de la fuerza electromotriz mediante el efecto termoeléctrico.

A pesar de ser ésta la primera referencia de electroluminiscencia, pudo haberse manifestado anteriormente, en 1660, tras frotar manualmente un globo de azufre en rotación por Otto von Guericke<sup>10</sup>. También pudo tratarse de electroluminiscencia la luz barométrica que observó Jean Picard<sup>11</sup> en 1675 en el espacio vacío de un barómetro de mercurio al ser agitado.

Tras ello, se ha usado la electroluminiscencia (EL) en infinidad de aplicaciones. Como en la fabricación de lámparas EL en patentes de General Electric que datan del 1938 o en la retroiluminación de paneles de instrumentos automotrices, siendo el caso del *Chrysler Imperial* de 1960. A esa tecnología se la nombró *Light Emitting Capacitor* (LEC). También se ha empleado en carteles publicitarios, presentando menor consumo de energía en comparación con el neón o el fluorescente.

En la década de 1980, el uso de la tecnología EL se generalizaba en los dispositivos de visualización, debido a su consumo de energía relativamente bajo, brillo relativo y capacidad de formación en configuraciones de película relativamente delgadas. Estas características son ventajosas con respecto a los diodos emisores de luz (LEDs) y las tecnologías incandescentes para muchas aplicaciones.

---

<sup>10</sup> Otto von Guericke (20 de noviembre de 1602, Magdeburgo – 21 de mayo de 1686, Hamburgo) físico y jurista alemán, conocido por sus estudios sobre presión atmosférica, la electrostática y sobre la física del vacío.

<sup>11</sup> Jean Picard (21 de julio de 1620, La Flèche - 12 de julio de 1682, París) astrónomo y sacerdote francés. Realizó la primera medida de un meridiano de Francia, proporcionando una medida muy exacta del radio de la Tierra y confirmando la Teoría de la Gravitación Universal de Isaac Newton.

---

Actualmente, algunos países aplican esta tecnología en forma de caracteres alfanuméricos sobre los techos de vehículos de seguridad pública para la identificación de éstos desde una perspectiva aérea. También se ha usado en seguridad vial para la iluminación de señales y se ha introducido en la moda y el ocio, especialmente en forma de cable.

Tradicionalmente, los dispositivos EL se han producido usando el método “doctor blade”<sup>12</sup> y la impresión, bien sea por serigrafía o por chorro de tinta. Estos métodos de producción permiten un alto volumen con un control de la calidad relativamente eficiente y fiable para paneles EL planos. Sin embargo, presentan grandes inconvenientes ante la necesidad de cubrir topologías complejas como superficies convexas, cóncavas o recurvadas.

Para tales condiciones se desarrolló la pegatina EL que constituye una película relativamente delgada aplicada sobre la superficie y encapsulada por una matriz polimérica. Esta tecnología EL presenta un inconveniente en adaptarse a curvas con radios de curvatura pequeños sin estirarse o arrugarse, por otro lado, la pegatina electroluminiscente no forma en ningún momento un enlace químico ni mecánico con la matriz de encapsulamiento, deviniendo un objeto extraño incrustado dentro de la matriz de encapsulamiento. También se muestra especialmente susceptible a la deslaminación por tensiones mecánicas, tensiones térmicas y exposición prolongada a rayos ultravioleta. Como resultado, la pegatina electroluminiscente cuenta con deficiencias en la fabricación y ciclo de vida del producto. Es por ello que se considera que la pegatina electroluminiscente no cubre la necesidad de aplicar una lámpara EL<sup>13</sup> sobre superficies complejas.



Figura 1.2 Pintura electroluminiscente apagada (izquierda) y encendida (derecha)

---

<sup>12</sup> Técnica ampliamente usada para la producción de películas delgadas para grandes superficies.

<sup>13</sup> Término usado para referirse a la pintura electroluminiscente según la patente EP 2 801 242 B1.

Hablamos de pintura para referirnos a una sustancia o producto que permite recubrir una superficie coloreándola. Se aplica en forma líquida o gaseosa, mediante partículas en suspensión, y tras el *secado* cambia a estado sólido.

La pintura electroluminiscente (PEL) constituye una evolución del panel LEC (*light-Emitting Capacitor*), basándose en la misma estructura y funcionamiento, pero con la particularidad de contar con un procedimiento de producción que se lleva a cabo mediante pistola pulverizadora HVLP. Se ha aplicado con fines estéticos en vehículos como coches o motos debido a su espectacular capacidad de iluminarse, siendo el centro de miradas en la noche. Es por esto que también empieza a usarse como herramienta de marketing, como medida para llamar la atención de posibles clientes. Empresas que trabajan con esta tecnología aseguran la posibilidad de imprimir este tipo de pintura sobre papel y valoran que dicho material mantiene sus propiedades, como la flexibilidad, pues se trata de pintura sin ningún tipo de circuito electrónico. Otras cualidades que resaltan es la adaptación de esta pintura a curvas y ángulos y la posibilidad de programar secuencias de luz.

Cabe resaltar que, en el presente trabajo, se estudia la aplicación de la PEL como señal visual de alarma en un caso general de navegación deportiva, es por este motivo que no se ha considerado una embarcación concreta, sino que se ha reproducido algunas características de una embarcación típica.

---

## CAPÍTULO 2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

### 2.1 Luminiscencia

**Fósforo:** s.m. (gr. *phosphóros*, portador de luz). A lo largo del trabajo se usa esta palabra para referirse a sólidos que cuentan con la capacidad de iluminarse mediante la luminiscencia. Cabe resaltar, si bien lo habitual es pensar en el elemento químico de número atómico 15 y símbolo P, un fósforo no tiene que estar expresamente conformado por dicho elemento químico.

**Luminiscencia:** capacidad de un cuerpo para emitir luz visible en la oscuridad. Esta emisión de luz no debe ser forzosamente calorífica, de hecho, la luminiscencia se liga más a la luz fría. La luminiscencia se produce a partir de la absorción de una radiación incidente por parte de determinados sólidos que cuentan con una estructura electrónica particular (fósforos). La energía es emitida por el sólido cuando este no es capaz de absorber más o cuando cesa la exposición a la radiación.

El proceso es el siguiente:

1. Los átomos reciben energía de una radiación;
2. Esto produce que los electrones suban a capas de mayor energía;
3. Las capas de menor energía quedan vacías y los electrones situados en las capas más energéticas se vuelven inestables;
4. Debido a la inestabilidad los electrones regresan a capas menos energéticas;
5. Por la ley de la conservación de la energía que se produce la emisión de fotones.

Contamos con diferentes tipos de luminiscencia dependiendo de la radiación que la motiva o el tiempo característico de emisión  $\tau$ .

#### 2.1.1 Radiación

##### 2.1.1.1 Radiación ionizante

La emisión de luz es obtenida tras una radiación capaz de ionizar la materia. En este proceso los electrones son extraídos de sus estados ligados al átomo, de esta manera se obtienen los iones, átomos con carga eléctrica. Diferenciamos tres tipos de luminiscencia obtenida por radiaciones ionizantes.

- **Fotoluminiscencia:** la energía activadora es de origen electromagnético (rayos ultravioletas, rayos X o rayos catódicos). La intensidad luminosa que emita la superficie fotoluminiscente va a depender del tiempo de exposición a la radiación y de la longitud de onda y la frecuencia de la radiación. Esta propiedad se aplica en carteles de señalización de emergencias.
- **Catodoluminiscencia:** la radiación es provocada por un bombardeo de electrones acelerados. Los minerales carbonáticos reaccionan especialmente bien a esta radiación y en petrología y

geoquímica se usa esta propiedad para estudiar las variaciones en la química del agua de los poros o en el mecanismo de precipitación.

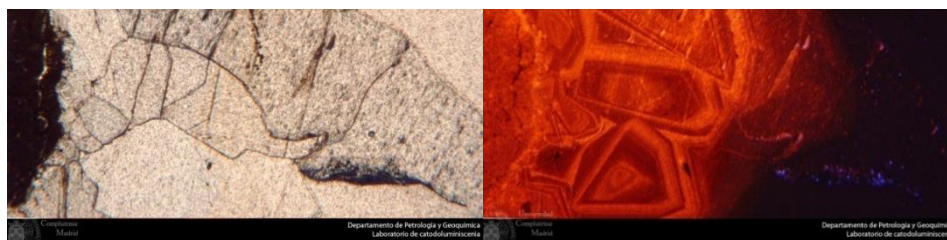


Figura 2.1 Muestra de cemento de calcita (izquierda) y ensayo con catodoluminiscencia de dicha muestra (derecha) – Departamento de Petrología y Geoquímica de la Universidad Complutense de Madrid

- **Radioluminiscencia:** la radiación es producida por rayos  $\alpha$ ,  $\beta$  o  $\gamma$ . Consta que fue observada por primera vez por Pierre Curie y Marie Curie en sus investigaciones con el elemento Radio. Las aplicaciones comerciales de materiales radioisótopos son escasas pero se pueden encontrar como elemento de iluminación de relojes, en visores de armas o señalizaciones de salidas de emergencia.

#### 2.1.1.2 Quimioluminiscencia

La luz emitida se produce debido a reacciones químicas. Un ejemplo sería la oxidación de los vapores del fosforo blanco al oxígeno que emite una luz pálida.

#### 2.1.1.3 Triboluminiscencia

Los causantes de la emisión de luz son procesos mecánicos como deformaciones o fracturas.

#### 2.1.1.4 Bioluminiscencia

Algunas especies son capaces de producir luz a partir de procesos bioquímicos. En la mayoría de casos es una enzima llamada luciferasa la encargada de oxidar el pigmento de luciferina y la luz se obtiene de la reacción de oxidación.

#### 2.1.1.5 Sonoluminiscencia

La emisión de un sonido ultrasónico es capaz de generar burbujas dotadas de átomos. El rápido colapso de dichas burbujas produce la separación de los electrones del núcleo, aumentando a su vez la temperatura (llegando a alcanzar los 30.000 °C) y generando plasma, el responsable de la emisión de luz.

#### 2.1.1.6 Electroluminiscencia

La emisión de luz es producida debido a una corriente eléctrica que fluye a través del fósforo o por la fuerza de un campo eléctrico. Las bombillas fluorescentes y LED son, probablemente, las aplicaciones de electroluminiscencia más conocidas.

---

## 2.1.2 Tiempo característico de emisión

### 2.1.2.1 Fluorescencia

Producida únicamente por rayos ultravioletas, la energía emitida siempre es menor a la energía total absorbida y la diferencia entre la energía recibida y la emitida es disipada en forma de calor. Su tiempo característico de emisión es de  $\tau < 10^{-8}$  segundos.

### 2.1.2.2 Fosforescencia

La luminiscencia perdura una vez cortada la excitación siendo  $\tau > 10^{-8}$  segundos.

## 2.2 La comunicación

El proceso de comunicación es el acto en el que se comparte una información. Nótese que una llamada de emergencia es, esencialmente, un acto de comunicación que, para cumplir el objetivo de eficacia del sistema, debe completarse. Así pues, se ha definido el entorno de estudio considerando que los elementos implicados son los elementos propios de la comunicación.

1. **Emisor:** la fuente o el poseedor del mensaje es el sistema de pintura electroluminiscente. Se trata de un sistema programado para enviar un aviso de socorro en situaciones de emergencia.
2. **Receptor (observador):** el receptor será todo aquel que reciba la información compartida por el emisor y sea capaz de decodificar el mensaje. Para llevar a cabo la decodificación, emisor y receptor deben compartir el mismo marco de referencia, contexto o código. Los principales receptores serían equipos de salvamento marítimo, navegantes próximos al emisor u observadores en tierra.
3. **Mensaje:** es la información codificada. Anuncia la ubicación de una embarcación en situación de socorro por motivo de avería, naufragio, incendio, etc.
4. **Código:** el destello característico de la señal luminosa es la codificación del mensaje.
5. **Canal:** Por el canal viaja la información para ser emitida y recibida. El medio por el que se transmite el mensaje es la atmosfera terrestre, usa el espectro de luz visible y está destinado a ser recibido por el ojo humano.
6. **Contexto:** el acto comunicativo se lleva a cabo en una situación de emergencia en la noche y en el mar, cerca de costa o en alta mar. En caso de que el observador, sea un operario de salvamento marítimo, el receptor contará con formación en seguridad marítima, de ser un navegante, su título acredita ciertas competencias en seguridad marítima. En los casos en que el receptor sea un observador civil debe considerarse el desconocimiento total de las normas de seguridad en la mar. El contexto histórico es la edad contemporánea, caracterizada por la electrificación y la automatización. Se produce bajo el amparo de convenios, normativas y sociedades nombradas en antecedentes.

**Ruido:** elementos que perjudican el proceso de comunicación, pudiendo llegar a impedirlo. En el presente estudio, se trata el ruido como rango geográfico y pérdidas de intensidad luminosa por transmisión.

**Redundancia:** se considera redundante todos aquellos elementos que no aportan nueva información al mensaje. El color de la señal es relevante en la comunicación marítima, pero no condiciona el alcance, que es fundamental para establecer la comunicación.

## 2.3 IALA

Como se indicaba en *Antecedentes*, el objetivo de IALA/AISM es la homogenización de un sistema de señalización mundial. Nace de la necesidad de:

- Conservar en lo posible los equipos existentes a fin de evitar un gasto excesivo.
- Definir la manera de utilizar los colores verde y rojo en la señalización de los canales.
- Combinar las reglas de los Sistemas Lateral y Cardinal.

El *Sistema de Ayudas a la Navegación* de IALA/AISM se compone principalmente de un sistema físico, sin embargo, todas las señales pueden complementarse con medios electrónicos. Está compuesto de dos partes: el *Sistema de Balizamiento Marítimo* y *Otras Ayudas a la Navegación*, que comprenden dispositivos fijos y flotantes.

En *Otras Ayudas a la Navegación* se incluyen faros, balizas, luces de sectores, enfilaciones, grandes ayudas flotantes y marcas auxiliares. Estas, están destinadas a comunicar una información de ayuda durante la navegación a un observador capacitado. Cabe matizar, pese haberse usado sus recomendaciones en el diseño del presente sistema, que el propósito que este persigue no es el de ayudar a la navegación, sino preservar la seguridad de la vida humana en la mar.

El proceso de comunicación se denomina señalización marina. Estas ayudas pueden requerir el uso de luz para la navegación durante la noche. La visibilidad de una marca se ve afectada por uno o más de los siguientes factores:

- Distancia de observación;
- Curvatura de la Tierra;
- Refracción atmosférica;
- Visibilidad meteorológica;
- Altura de la ayuda sobre el nivel del mar;



- Percepción visual del observador;
- Altura de la vista del observador;
- Condiciones de observación (día o noche);
- Visibilidad de la marca (forma, tamaño, color y propiedades de cualquier material reflector);
- Contraste (tipo de entorno, tiene en cuenta la iluminación, vegetación, nieve, etc.);
- Marca iluminada o carente de iluminación;
- Intensidad y carácter.

Las ayudas visuales a la navegación se pueden distinguir por una amplia gama de características:

- Tipo; forma; tamaño; color; nombres, características retro-reflexivas; letras y números;
- Encendido/apagado; carácter de señal; intensidad de luz; sectores; inclusión de ayudas subsidiarias;
- Estructuras fijas; plataformas flotantes; materiales de construcción;
- Ubicación; elevación; relación con otras ayudas a la navegación y características observables.

## 2.4 Rango Geográfico

Esta es la mayor distancia a la que se puede ver un objeto o una fuente de luz en condiciones de perfecta visibilidad, limitadas sólo por la curvatura de la tierra, por la refracción de la atmósfera y por la elevación del observador y del objeto o luz. A medida que el observador se aleja, la fuente de luz queda eclipsada por la tierra.

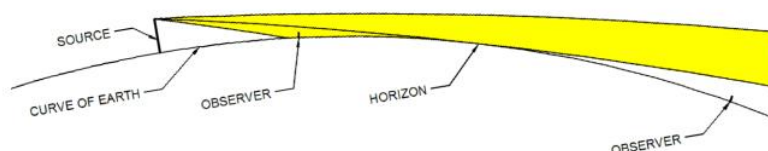


Figura 2.2 Efecto de exceder el rango geográfico – IALA AISM

## 2.5 Fotometría, espectrometría y radiometría

### 2.5.1 Contraste

Poder detectar diferencias de luminancia entre un objeto y un fondo es un requisito visual básico y se usa para definir el término contraste. Se representa por la ecuación ( 2 ):

$$C = \frac{(L_0 - L_B)}{L_B} \quad (2)$$

Dónde:

C = contraste

LB = luminosidad del fondo (cd/m2)

LO = luminosidad del objeto (cd/m2)

El contraste al que un objeto puede ser detectado en un fondo determinado durante el 50% del tiempo, se denomina **umbral de contraste**. Para las observaciones meteorológicas, se debe utilizar un umbral más alto para asegurar que el objeto sea reconocido. Se suele adoptar un valor de contraste de 0,05 como base para la medición del rango óptico meteorológico, según criterios de IALA

### 2.5.2 Transmisividad atmosférica

Es la proporción de luz permanente tras pasar una unidad de distancia, más adelante se define en profundidad. La Tabla 1 muestra los valores de la transmisividad atmosférica asociados al tiempo:

T	Tiempo
0,1 a 0,2	Neblina
0,3 a 0,6	Bruma
0,7 a 0,8	Diáfano
0,9	Excepcionalmente diáfano

Tabla 1 Valores de transmisividad atmosférica asociados al tiempo – IALA AISM

### 2.5.3 Alcance luminoso

Esta es la distancia máxima a la que una luz dada puede ser vista por el ojo del observador en un momento determinado. No tiene en cuenta la altura de la luz, la altura del ojo del observador o la curvatura de la Tierra.

### 2.5.4 Alcance nominal

Es el rango luminoso cuando la visibilidad meteorológica es de 10 millas náuticas, lo que equivale a un factor de transmisión de  $T = 0.74$ . El rango nominal es generalmente la figura usada en la documentación oficial tal como cartas náuticas, listas de luces, etc. Esta medida se usa para casos en que la luz se observa contra un fondo oscuro, sin iluminación de fondo.

### 2.5.5 Fotometría de señales de navegación por luz

El comportamiento de la luz se describe en forma de radiación electromagnética o movimiento de partículas. Esta particularidad de la luz se llama *dualidad onda-partícula*. En el análisis de las interacciones entre la luz y las lentes se usa el concepto *rayo de luz*.

Las **unidades** de medida usadas en el estudio de radiaciones electromagnéticas son el metro (longitud de onda) y el Watt (potencia). Por otro lado, para la aplicación de luces como señal, se requiere el uso de unidades fotométricas<sup>14</sup>, definidas en la Tabla 2, que consideran los aspectos fisiológicos en la interpretación de la luz.

Término	Descripción	Unidad
<b>Flujo luminoso F</b>	Potencia total de luz visible emitida por una fuente de radiación.	lúmen [lm]
<b>Intensidad luminosa I</b>	Cantidad de flujo luminoso por unidad de ángulo sólido	candela [cd]
<b>Iluminancia E</b>	Cociente de la cantidad de flujo luminoso recibida sobre una superficie entre el área iluminada.	lux [lx] [lm/m <sup>2</sup> ]
<b>Luminancia L</b>	Porción de flujo luminoso emitido en una dirección específica por la superficie de un cuerpo luminoso.	candela por metro cuadrado [cd/m <sup>2</sup> ]

<sup>14</sup>Fotometría: ciencia que estudia la percepción por el ojo humano del espectro visible de una radiación electromagnética. O lo que es lo mismo, estudia la capacidad que tiene la radiación electromagnética de estimular el sistema.

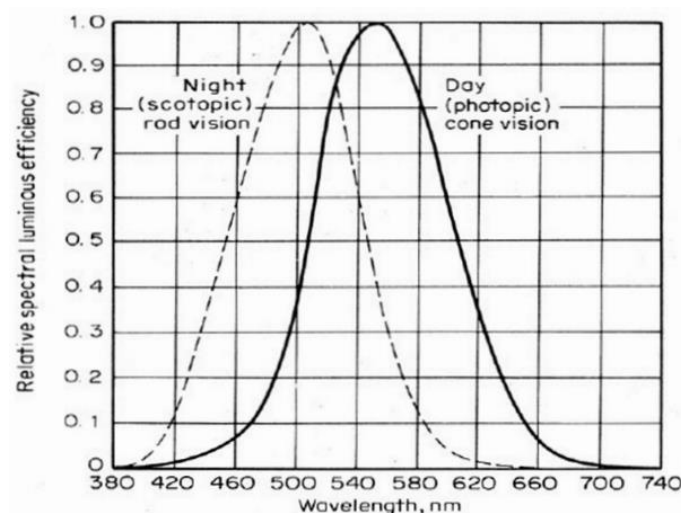
<b>Eficacia luminosa <math>\rho</math></b>	Relación entre la salida luminosa y la salida radiométrica de una fuente de luz. También es la eficiencia con la que la energía eléctrica se convierte en luz visible.	lúmen por vatio consumido
<b>Temperatura de color</b>	Color relacionado a la temperatura de un cuerpo negro. El aumento de temperatura sobre el cuerpo produce una serie de colores desde el rojo al amarillo y blanco, a azul blanco.	kelvin
<b>Índice de representación de color</b>	Representación de la calidad de color de la luz de una lámpara. Para una lámpara incandescente el valor máximo por definición es 100.	CRI

Tabla 2 Definición y unidades de términos fotométricos

Es muy importante no confundir la intensidad luminosa  $I$  por unidad de superficie pintada con la luminancia  $L$ , con la que comparte unidades.

### 2.5.5.1 Sensibilidad espectral

El estímulo producido en el ojo en respuesta a luces de diferentes colores (diferente longitud de onda) se mide mediante la sensibilidad espectral. Se representa en dos curvas, una para observadores fotópicos  $V(\lambda)$  y otra para observadores escotópicos  $V'(\lambda)$ , obtenidas empíricamente en ensayos con personas<sup>15</sup>.

Figura 2.3 Distribuciones de sensibilidad espectral o  $V(\lambda)$  y  $V'(\lambda)$  Curvas para el Observador Humano – IALA AISM

<sup>15</sup> La observación fotópica se produce durante el día en buenas condiciones de iluminación. La observación escotópica es realizada durante la noche en condiciones de baja iluminación.

### 2.5.5.2 Medición

La medición del color se realiza mediante colorímetros o espectrorradiómetros:

- El colorímetro se comprende de tres fotorreceptores, cada uno con un filtro coloreado. Estos filtros se adaptan a la respuesta de uno de los tres receptores oculares: rojo, verde y azul (colorímetro *tristimulus*). Para cada receptor filtrado, el colorímetro da una salida, estas corresponden a las funciones X, Y y Z de un observador humano.
- El espectrorradiómetro consiste en un monocromador y un fotorreceptor. El primero descompone el rayo de luz en diferentes longitudes de onda y el segundo mide diferentes secciones del espectro a medida que gira el monocromador. De ello se obtiene un gráfico potencia/longitud de onda cuyos resultados pueden ponderarse con las funciones X, Y y Z de un observador humano.

### 2.5.5.3 Umbral de iluminancia

El umbral de iluminancia, en términos físicos, es el nivel más bajo de iluminancia E de una fuente capaz de causar una respuesta visual en el ojo y va en función del nivel de luminosidad de fondo.

### 2.5.5.4 Ley de Allard

La luz emitida por una fuente es irradiada en todas las direcciones. Los frentes de onda de luz irradiada se pueden considerar una serie de superficies esféricas. De esa manera, cuanto más se aleja la luz de la fuente, mayor es la superficie de la esfera. Debido a la definición de iluminancia, flujo luminoso por superficie, ésta disminuye en función a razón del cuadrado de la distancia. Esta particularidad se describe como la ley del **cuadrado inverso**.

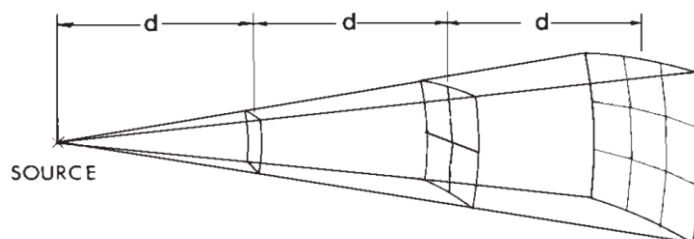


Figura 2.4 Representación gráfica de la ley del cuadrado inverso – IALA AISM

Todo ello queda descrito en la **Ley de Allard**, que establece una ecuación donde la iluminancia producida en el ojo del observador depende de la intensidad luminosa de la fuente, la distancia entre la fuente y el observador y la transmisividad atmosférica.



## CAPÍTULO 3. ELEMENTOS DEL SISTEMA

Se ha denominado sistema PEL al conjunto de elementos necesarios para el funcionamiento de la PEL. Este sistema debe instalarse en el interior de un elemento contenedor que, en ocasiones, realizará la función de sustrato o *lienzo* para la PEL<sup>16</sup>. Esta tecnología usa dos circuitos de corriente eléctrica: el primero, en corriente continua, tiene la función de almacenar la energía y alimentar el inversor; el segundo usa corriente alterna con la que trabaja la PEL. El sistema debe incluir protección contra sobreintensidad y contra fallo de puesta a masa/fuga a tierra y conductores y conexiones específicas. La PEL es el elemento encargado de la emisión de luz mediante la electroluminiscencia, por lo que constituye la señal luminosa del sistema.

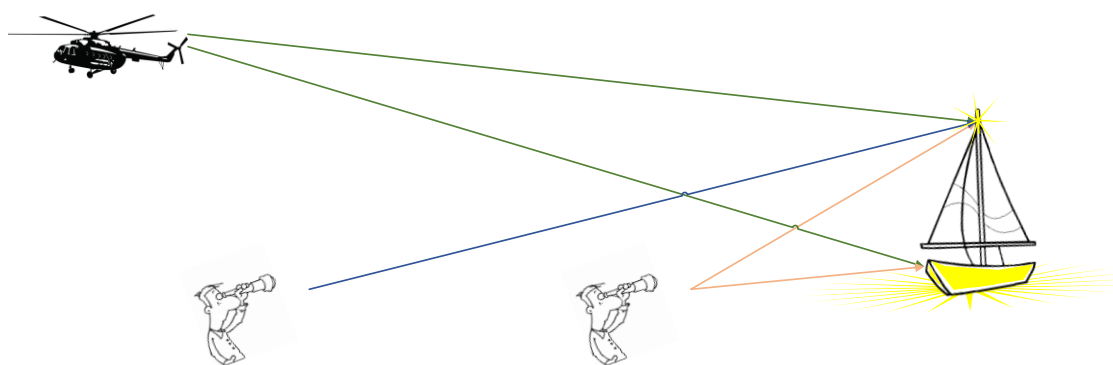


Figura 3.1 Observación del sistema PEL en dos sustratos (mástil y casco)

La integración de los elementos en el interior de una construcción de doble aislamiento, conferiría al sistema PEL la condición de aparato o equipo eléctrico. De ser así, es de igual obligatoriedad la protección contra la sobreintensidad, ya sea integral o externa. Todo equipo eléctrico debe estar marcado o identificado<sup>17</sup> para indicar: el fabricante, el número de modelo, las características eléctricas nominales en voltios y amperios o voltios y vatios, la fase y la frecuencia y la protección contra la ignición.

Las partes energizadas de equipos eléctricos deben estar resguardadas contra contactos accidentales mediante el uso de recintos de al menos IEC 60529-IP 2X<sup>18</sup>. El acceso a las partes energizadas del sistema eléctrico debe requerir el uso de herramientas manuales o ser al menos IP 2X, a menos que se especifique otra cosa. Se debe mostrar un cartel de advertencia adecuado<sup>19</sup>.

<sup>16</sup> Los elementos contenedores y sustratos estudiados se definen más adelante, en *Capítulo 5. Elementos contenedores y sustratos del sistema*.

<sup>17</sup> Norma ISO 8846.

<sup>18</sup> Aparato protegido contra la caída de gotas de agua con inclinación máxima de 15°.

<sup>19</sup> Cartel de advertencia mostrado en Anexo 4

El sistema PEL se compone de siete elementos:

- Batería;
- Inversor;
- Conductores;
- Protección contra la sobreintensidad;
- Conectores;
- Protección contra el fallo de puesta a masa/fuga a tierra;
- Pintura electroluminiscente.

Los elementos del sistema han sido diseñados según las especificaciones definidas en las normativas que regulan los sistemas eléctricos en pequeñas embarcaciones:

*ISO 10133:2018 Pequeñas embarcaciones. Sistemas eléctricos. Instalaciones de corriente continua a muy baja tensión:* esta norma establece los requisitos de diseño, construcción instalación y ensayo de sistemas eléctricos de muy baja tensión en corriente continua que operan a potenciales nominales de 50 V o menos en pequeñas embarcaciones de hasta 24 metros de eslora.

*ISO 13297:2019 Pequeñas embarcaciones. Sistemas eléctricos. Instalaciones de corriente alterna:* esta norma especifica los requisitos de diseño, construcción e instalación de los sistemas eléctricos a baja tensión de corriente alterna que operan a tensiones nominales inferiores a 250 V monofásicas en pequeñas embarcaciones de hasta 24 metros de eslora.

### 3.1 Requisitos generales

Nos encontramos con un sistema en c.c. de dos hilos completamente aislados. El casco no debe utilizarse como un conductor portador de corriente, excepto en cascos metálicos. Todos los interruptores de accionamiento manual deben estar marcados para indicar su uso. Los equipos en c.c. debe ser capaz de funcionar dentro de un rango de tensión del 75% al 133% de la tensión nominal en los bornes de la batería.

El aislamiento del conductor de protección del circuito c.a. debe ser de color verde o verde con una franja amarilla. Ninguno de estos colores debe utilizarse para conductores portadores de corriente<sup>20</sup>. El conductor de protección de corriente alterna debe conectarse al casco de una embarcación de casco metálico o, de no ser así, a la placa externa de masa. Es importante que casco de una embarcación de casco metálico no sea utilizado como un conductor y que, para este tipo de cascos, el punto de conexión del conductor de protección se ubique por encima de cualquier acumulación de agua prevista. Toda carcasa o envoltura

---

<sup>20</sup> Debe tenerse en cuenta que el conductor equipotencial de conexión para sistemas eléctricos de c.c., también utiliza estos colores característicos.



---

metálica de aparatos eléctricos de c.a. y de instalación permanente, debe conectarse al sistema conductor de protección en la embarcación.

Las secciones en c.c. y c.a. se deben distribuir de manera claramente separada. Se incluirá en la embarcación los diagramas de cableado para identificar circuitos, componentes y conductores.

## 3.2 Batería

La batería es el elemento encargado de almacenar la energía demandada por el sistema. Por razones de seguridad, el sistema debe ser independiente, por esto se requiere una batería propia habilitada para una sola descarga. La tensión que aporta la batería puede ser de 12 V, 24 V o 48 V. La batería permanecerá desconectada y precintada, dispuesta para ser descargada únicamente en una emergencia.

Debe estar debidamente trincada para evitar desplazamientos durante la navegación, restringiendo su movimiento horizontal y vertical para no admitir desplazamientos superiores a los 10 mm, en cualquier dirección, cuando se somete a una fuerza correspondiente a dos veces su peso. La batería debe estar instalada en un lugar seco, ventilado y por encima del nivel de agua esperado en la sentina. Debe encontrarse aislada de humedades, elementos corrosivos y daños mecánicos, por lo que se recomienda conservar la batería en una caja o local estanco

No se ubicará la batería directamente por encima o por debajo de un tanque de combustible o en el filtro de combustible sin una cubierta o estructura de aislamiento. Cualquier componente metálico del sistema de combustible situado dentro de 300 mm y por encima de la parte superior de la batería debe estar eléctricamente aislado.

Los terminales deben permanecer protegidos de oxido y de objetos metálicos que puedan entrar en contacto involuntario. Se dispondrá de un precinto en los bornes que evite la descarga de la batería cuando el sistema de alerta por PEL se encuentre apagado y que acredite el uso del sistema.

Se ha estudiado el uso de baterías de litio. Este tipo de batería presenta, respecto a otros tipos de baterías, un tamaño reducido, ligereza y seguridad como ventajas. Presenta una buena relación capacidad-tamaño y capacidad-peso, con un alto voltaje por celda y descarga lineal. La principal desventaja de este tipo de batería es su precio. Otra desventaja especialmente relevante, es la disminución de rendimiento a bajas temperaturas, reduciendo su duración hasta un 25%.

La vida útil de la batería no excederá, por norma general, los cuatro años desde su instalación. Siguiendo los criterios de inspección de las radiobalizas, el cambio de batería debe ser comunicado a capitania marítima y a la entidad colaboradora que haya realizado la última inspección<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> Aplicación en embarcaciones de recreo.

### 3.2.1 Dimensionamiento de la batería

La capacidad de la batería se mide en Amperios por hora (Ah) y expresa la corriente continua que la batería puede suministrar durante 1 h de uso, manteniendo la tensión de suministro en unas condiciones de temperatura estándar. La Capacidad de una batería, indica el tiempo de descarga nominal.

El valor de capacidad de la batería, se ha obtenido a partir de los requisitos de funcionamiento del inversor a máxima potencia de salida  $P_{s\ max}$  que corresponde a 150 W y para una tensión eficaz de salida  $V_{RMS} = 49,517$  V. De esta manera se obtiene una corriente de carga  $I$  de 3.029 A máxima, para una fase  $\cos(\theta)$  igual a 1. Para una duración del servicio de 6 horas y con un factor de seguridad de 1,5, la batería contará con una demanda de 27,267 Ah.

Dispositivo	Potencia (W)	Tensión alterna (V)	Tensión eficaz (V)	Corriente (A)	Duración en servicio (h)	Capacidad (Ah)
Inversor	150	110	49,511	3,030	6	18,178
					Margen de seguridad	1,5
					Demanda de Ah	27,267

Tabla 3 Dimensionamiento de la batería de un sistema

La batería propuesta es de ion litio de 48 V con 40 Ah. Cuenta con una corriente nominal de 30 A, con lo que garantiza una tensión por encima de los 48 V durante sus 6 horas de servicio. Sus dimensiones son 70 mm x 165 mm x 355 mm y su peso 5,5 kg. El precio de esta batería asciende a 381,84 euros.

## 3.3 Inversor

La única fuente de energía eléctrica del circuito de corriente alterna del presente sistema será el inversor. Este debe funcionar a temperaturas ambiente de 50°C a 70°C sin daños.

Se ubicará en un lugar ventilado, seco fácilmente accesible donde las temperaturas ambientales no superen los 50°C. Debe estar instalado lejos de fuentes de calor tales como los componentes del sistema de escape de motores y otros dispositivos que producen calor y a más de 500 mm por encima de los niveles previstos de agua de sentina. No se instalará en compartimentos que en funcionamiento normal puedan contener gases GLP o vapores de petróleo.

---

Los terminales de conductor de c.c. o los conductores llevarán la etiqueta siguiente:

- C.c.+, o POS, o +
- C.c.-, o NEG, o –

Los circuitos de salida del inversor deben contar con protección contra sobreintensidad y protección contra el fallo de puesta a masa/fuga a tierra (RCD). El inversor debe proporcionar aislamiento de la corriente alterna de salida desde el circuito de alimentación de corriente continua.

También debe disponer de un conductor neutro conectado a masa. Se instalará un conductor equipotencial que tendrá una intensidad nominal igual a la del conductor de corriente continua positiva. Es especialmente importante no conectar dicho conductor al negativo. Para la aplicación en embarcaciones, del presente sistema, el inversor contará con un conductor de c.c. equipotencial separado desde la caja metálica o desde el chasis del inversor al terminal negativo del motor, o a su bus.

Los terminales o conductores deben llevar una etiqueta, por ejemplo, L1, G, N.

Los paneles de acceso a los compartimentos que contienen las conexiones de c.a. deben estar provistos de una etiqueta con una advertencia sobre el peligro de choque eléctrico, como se muestra en la Figura 3.2:

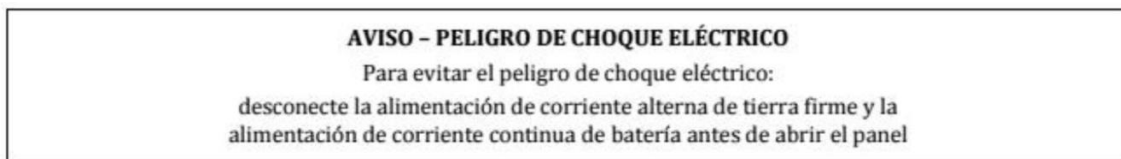


Figura 3.2 Etiqueta de advertencia sobre el peligro de choque eléctrico – AENOR

Se debe incluir la siguiente información del inversor:

- La tensión de entrada.
- Intensidad continua de salida a la tensión nominal.
- Tensión y frecuencia nominal de salida.
- Capacidad de resistencia al choque y duración.

El brillo de la PEL es proporcional a la tensión y frecuencia de salida, restringidas por la Norma a 250 V y 60 Hz respectivamente. Se ha optado por un inversor de 48 V (c.c.) a 110 V (c.a.) y frecuencia de 60 Hz, con certificado CE y de 150 W de potencia. Este proporciona una inversión a baja potencia para tensiones de entrada elevadas a baja tensión en alterna, optimizando el consumo y proporcionando mayor autonomía en consecuencia. Su peso es de 365 gramos y su precio aproximado son 15 euros.

## 3.4 Conductores

Los conductores del circuito en c.c. no estarán contenidos en el mismo sistema de cableado que el circuito en c.a., a menos que se utilice los siguientes métodos de separación:

- Separación mediante pantalla metálica puesta a tierra de capacidad de corriente equivalente a la del mayor núcleo de cualquiera de los circuitos. Para los núcleos de cables o cordones multi-núcleo.
- Instalación del cable en un compartimento separado de un conducto de cable o del sistema de canalización para el aislamiento de su tensión nominal.
- Instalación de los cables en una bandeja o escalera que proporcione separación física mediante partición.
- Uso de conductos separados, vainas o sistemas de canalización.
- Separación de al menos 100 mm entre conductores c.c. y c.a. directamente fijados a una superficie.

Los conductores y cables deben apoyarse en toda su longitud a intervalos máximos de 300 mm. El apoyo se llevará a cabo mediante soportes individuales, bandejas de cableado o canalizaciones con el primer apoyo a no más de 1 m del borne.

El espacio libre mínimo es de 50 mm desde los componentes de escape refrigerados por agua y de 250 mm desde los componentes de escape secos, a menos que se proporcione una barrera térmica equivalente.

Los conductores portadores de corriente deben tenderse por encima de donde el agua pueda acumularse y por lo menos a 25 mm por encima del nivel en el que se activa el interruptor automático de la bomba de achique. Para casos en que sea imprescindible tender los conductores por debajo del nivel esperado de agua, se dispondrán en un recinto IP67 según la Norma IEC 60529, sin ninguna conexión previsible.

Los conductores quedarán protegidos de daños físicos mediante vainas, conductos u otros medios equivalentes. Es necesario proteger contra daños en el aislamiento por rozaduras abrasivas los conductores que pasen a través de mamparos, cerca de bordes afilados y cualquier otra área donde se puedan producir rozaduras.

En espacios de máquinas, el aislamiento de los conductores deberá ser de 70°C como mínimo y clasificado como resistente al aceite. Los conductores deben colocarse lejos de los tubos de escape y otras fuentes de calor que pueden dañar el aislamiento.

---

### 3.4.1 Corriente continua

#### 3.4.1.1 Identificación

Se permite la identificación, siempre que no sean de color, para los conductores en c.c. positivos. De ser así, tendrían que identificarse debidamente en los diagramas de cableado de la embarcación del sistema eléctrico. Los conductores en c.c. negativos deben identificarse mediante un aislamiento amarillo.<sup>22</sup>

Para evitar confusiones con los conductores del circuito c.a., en el sistema c.c se debe evitar el uso de aislamiento marrón, blanco o azul claro, a menos que estén separados y debidamente identificados como c.c.

#### 3.4.1.2 Dimensionamiento

La distribución eléctrica en c.c. se debe llevar a cabo con conductores de área transversal mínima de 0,75 mm<sup>2</sup> conformados por un mínimo de 16 hebras de cobre según la Tabla 19 del Anexo 4. Los conductores deben ser aislados con material ignífugo. Los conductores del circuito de c.c. no excederán de los 200 mm de longitud, los que excedan deberán tener un área de al menos 1 mm<sup>2</sup>

Se ha propuesto 400 mm de conductor c.c., en los que se incluye la longitud del positivo y el negativo, para permitir la mayor facilidad de instalación. Se disponen 200 mm adicionales del mismo conductor para la instalación del equipotencial. El conductor escogido, cuenta con un área de sección transversal de 0,75 mm<sup>2</sup> y es de clase 5<sup>23</sup>, por lo que se compone de 22 hebras como mínimo. El peso del conductor es de 0,012 kg/m, el precio del conductor es de 0,35 euros/m.

### 3.4.2 Corriente alterna

#### 3.4.2.1 Identificación

Los conductores activos (fase) del sistema de corriente alterna, deben estar identificados de color negro o marrón, los neutros deben ser blancos o azul claro. Como se adelantaba anteriormente, los conductores de protección serán de color verde o verde con una franja amarilla.

#### 3.4.2.2 Dimensionamiento

Los conductores deben tener una característica nominal mínima de 200/500 V. Se dispondrá de cables de 1 mm<sup>2</sup> conformados por 16 hilos en una estructura multi-hilo, con una característica nominal de temperatura de aislamiento de al menos 60°C.

---

<sup>22</sup> Se puede añadir una banda de color al aislamiento del conductor para la identificación en el sistema.

<sup>23</sup> Según la Norma IEC 60228 de la Comisión Electrotécnica Internacional.

Se ha propuesto un conductor multi-hilo de 1 mm<sup>2</sup> de área transversal de 16 hebras. La longitud del conductor c.a. es de 27 metros con la PEL a tope de palo y el inversor a popa, siendo la condición más adversa de todas las planteadas. Su peso es de 0,346 kg/m y su precio asciende a los 5,43 euros/metro.

## 3.5 Protección contra la sobreintensidad

### 3.5.1 Instalaciones de corriente continua

Se debe instalar un fusible de rearme manual lo más cerca posible de la fuente de alimentación y a menos de 1,8 m de esta. El fusible deberá disponerse en el conductor positivo del circuito c.c. para proteger de posibles subidas de intensidad producidas por el inversor.

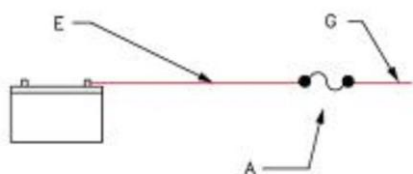


Figura 3.3 Opción de ubicación de la protección contra la sobreintensidad para un circuito de batería sencilla sin interruptor de arranque – AENOR

Leyenda:

- A      Dispositivo de protección contra la sobreintensidad (fusible)
- E      1,8 metros como máximo
- G      Conductores hacia varias cargas, según sea necesario

La tensión nominal de cada fusible o disyuntor del circuito no debe ser inferior a la tensión nominal del circuito; la intensidad nominal no debe exceder el valor del conductor de tamaño más pequeño en el circuito.

Se ha considerado negligible el peso del fusible y su precio es de 3 euros.

### 3.5.2 Instalaciones de corriente alterna

La característica nominal del dispositivo de protección contra la sobreintensidad (conductor equipotencial) no debe exceder la máxima capacidad de transporte de corriente del conductor que se está protegiendo.

---

## 3.6 Conexiones de cableado y terminales

Todos los conductores dispondrán de conectores adecuados, sin cables desnudos a las conexiones del perno o del tornillo. No deben asegurarse más de cuatro terminales de conducción a un perno.

Las conexiones expuestas a inmersión intermitente, deben contar con protección IP67 como mínimo. Para los demás casos, las conexiones deben encontrarse localizadas en lugares protegidos de la intemperie o en recintos con protección IP 55<sup>24</sup>.

Los metales usados en conectores deben ser resistentes a la corrosión y galvánicamente compatibles con el conductor y el borne. No debe usarse aluminio y acero no laminado.

Las conexiones de conductor a conector y de conductor a borne deben ser capaces de resistir una fuerza de tracción igual a por lo menos el valor que se muestra en la tabla para el conductor más pequeño de la conexión, sin separarse.

Tamaño del conductor (mm <sup>2</sup> )	Fuerza de tracción (N)	Tamaño del conductor (mm <sup>2</sup> )	Fuerza de tracción (N)	Tamaño del conductor (mm <sup>2</sup> )	Fuerza de tracción (N)
0,75	40	6	200	50	400
1	60	10	220	70	440

Tabla 4 Fuerzas de tracción – AENOR

Los vástagos expuestos de los bornes de la batería deben estar protegidos contra cortocircuitos accidentales mediante barreras de aislamiento o mangas, excepto los que permanezcan al circuito de puesta a tierra.

Se debe sujetar los conductores asegurando que se mantiene una unión mecánica fiable y un contacto eléctrico correcto. Los terminales conectados deben ser del tipo espadín cautivo de auto-bloqueo o anillo.

Se ha considerado negligible el peso de las conexiones. El precio de estas es de 0,10 euros.

---

<sup>24</sup> Según la Norma IEC 60529.

### 3.7 RCD. Protección contra el fallo de puesta a masa/fuga a tierra

El inversor, fuente de corriente alterna, debe disponer de protección frente a fugas a tierra. Dicha función se lleva a cabo mediante un interruptor diferencial de corriente residual RCD de doble polo con sensibilidad de disparo de 16 mA y tiempo de disparo de 30 ms. Dicho dispositivo debe tener un circuito interno para ensayar manualmente la función de disparo.

El peso del RCD es de 30 gramos y su precio cercano a los 13 euros.

### 3.8 Protección contra la inflamación

Se debe proteger, de acuerdo a la Norma ISO 8846, los componentes y dispositivos eléctricos instalados en compartimentos contenedores de vapores y gases explosivos.



---

## CAPÍTULO 4. PINTURA ELECTROLUMINISCENTE PEL

La PEL no constituye un producto como tal, es por eso que su propiedad se reivindica en una patente de procedimiento y no de producto. Esta pintura constituye, en cierta manera, un método de producción del panel LEC, compartiendo principios físicos y gran similitud en la composición. La diferencia entre ambos radica en las matrices poliméricas de la PEL, estas tienen la función de mejorar la unión entre capas y permitir la producción mediante pintado.

### 4.1 Panel LEC

Esta tecnología usa una capa de fósforo en polvo (microcristales) contenida entre terminales eléctricos. Funciona según el principio de recombinación radiativa (emisión espontánea), producido por un fósforo sólido sometido a un campo eléctrico alterno. La separación de electrones y agujeros se puede realizar dopando el material para formar una unión pn o mediante la excitación por impacto de electrones de alta energía acelerados por un campo eléctrico fuerte. Requiere un inversor encargado de invertir la corriente continua, suministrada por la batería, en alterna a una frecuencia de entre 50 y 5000 Hz. Gracias a un terminal superior traslucido, la luz escapa al exterior.

### 4.2 Patente

La propiedad intelectual-industrial (PI) se relaciona con las creaciones de la mente: invenciones, obras literarias y artísticas, símbolos, nombres e imágenes utilizados en el comercio. La PI proporciona protección contra imitaciones, a una información asociada a una inversión económica. Los derechos de exclusividad se encuentran en la posibilidad de excluir a terceras partes de determinadas actividades. Se clasifica en dos ramas: propiedad industrial y derechos de autor. Los derechos más importantes de la PI son: derechos de autor, marcas y nombres comerciales, indicaciones geográficas, diseños industriales, secretos, patentes y modelos de utilidad.

Los derechos de la PI se desarrollan constantemente para proteger las inversiones económicas y tiene sentido para productos exitosos que incitan la imitación por parte de terceros. En el presente trabajo, en el que se estudia la aplicación de un producto novedoso y desarrollado con el objetivo de ser comercializado, la PI es relevante por dos motivos:

En primer lugar, la empresa que comercializa la pintura electroluminiscente hace uso del derecho de secreto. El secreto es una protección *de facto* que se realiza restringiendo el acceso a cualquier información valiosa y permanece mientras dicha información se mantenga confidencial. Se fundamenta por la paradoja

de Arrow<sup>25</sup> y permite la imitación por ingeniería inversa. La información bajo secreto limita la obtención de información técnica de la presente invención y eso nos lleva al segundo punto.

En segundo lugar, la empresa *Darkside Scientific, LLC* es propietaria de una patente internacional, WO 2013/102859, publicada mediante un procedimiento PCT bajo el nombre *Electroluminescent devices and their manufacture*. En ella se describe el procedimiento para la fabricación de PEL y se detalla información imprescindible para el presente trabajo.

Es importante recalcar que la patente usa el término *lámpara electroluminiscente* o *lámpara EL* para referirse a la pintura electroluminiscente como producto. A pesar de resultar más técnico, en el presente trabajo se ha procurado hacer uso del acrónimo PEL para evitar confusiones con otras tecnologías de iluminación electroluminiscente.

#### 4.2.1 Método de producción

El método de producción de la pintura electroluminiscente se inicia con la selección del sustrato. Tras esto, se aplica una capa de imprimación que sirve de base para la siguiente capa, una pintura de material conductor eléctrico y base acuosa. Sobre la segunda, se pinta una capa dieléctrica usando un material dieléctrico de base acuosa. A continuación, se sitúa la capa de fósforo usando un material fósforo de base acuosa, este proceso se debe llevar a cabo bajo una fuente de radiación ultravioleta para provocar la excitación del fósforo y obtener señales visuales durante la aplicación, con el objetivo de distribuir de forma general y uniforme toda la película. Superpuesta, se aplica una capa de electrodo usando un material conductor eléctrico sustancialmente transparente y de base acuosa. Las capas son aplicadas mediante una pistola pulverizadora constituyendo un *revestimiento conformal* por pulverización.

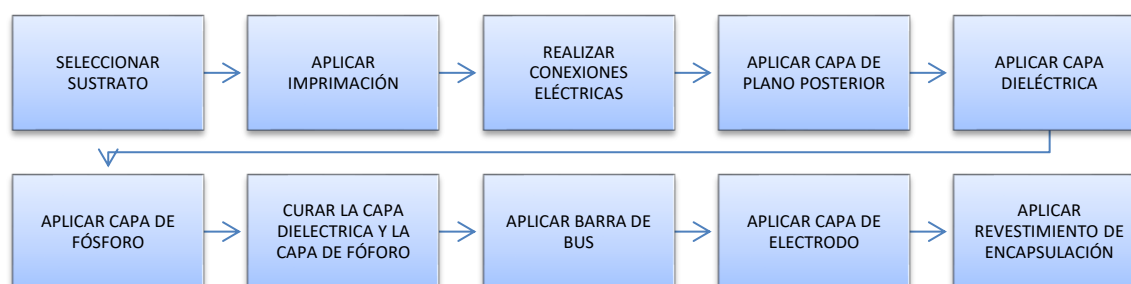


Figura 4.1 Diagrama de flujo de un procedimiento de producción de lámparas electroluminiscentes según una realización de la presente invención

<sup>25</sup> Paradoja de la elección: dada a conocer y demostrada por primera vez por Kenneth Arrow en su tesis doctoral "Social choice and individual values" y popularizado en su libro del mismo nombre editado en 1951.

---

Las superficies conductoras deben estar correctamente imprimadas y limpias. Las superficies no conductoras también deben imprimirse adecuadamente.

Se recomiendan temperaturas entre 16 y 29 °C y humedades inferiores al 60% para llevar a cabo la aplicación. Antes de usar, es importante agitar las mezclas con un agitador de vidrio o plástico. Tras esto, se debe colar con un filtro de 120 o 125 micras.

La pulverización de las capas debe realizarse con un pulverizador de alto volumen baja presión (HVLP) a 20-25 psi. La superposición entre pasadas debe ser del 50% al 75%. El contenido del depósito de la pistola, debe ser agitado constantemente durante la aplicación. Se aplican dos o tres capas hasta obtener una lectura de resistencia de 10 ohmios.

Para el secado se recomienda temperaturas cercanas a los 21°C y humedades del 50%. La PEL se seca al tacto en 30 minutos, tras esto, se le puede aplicar una nueva capa. Son necesarios 7 días para la completa curación.

Las manchas, gotas o salpicaduras debidas a la aplicación de PEL pueden eliminarse con etanol o acetona.

#### 4.2.1.1 Capas

**Sustrato (12):** superficie seleccionada sobre la cual debe aplicarse la lámpara (10) electroluminiscente. El sustrato (12) puede ser conductor o no conductor, y puede tener cualquier combinación deseada de superficies convexas, cóncavas y curvas. La lámpara (10) electroluminiscente presenta afinidad con: vidrios, plásticos, metales, fibras de carbono, fibras de vidrio y maderas.

**Imprimación (14):** la capa de imprimación (14) es un revestimiento no conductor del sustrato (12). La imprimación (14) sirve para aislar eléctricamente el sustrato (12) de las capas descritas a continuación. La imprimación (14) también mejora la adherencia entre el sustrato (12) y las capas subsiguientes.

**Plano posterior (16):** el plano posterior (16) se construye de un material de baja resistencia (para minimizar los gradientes de voltaje y dar brillo y uniformidad al sistema), altamente conductor y generalmente opaco, que constituye el electrodo inferior de la lámpara (10). Su función es permitir la conducción de la corriente eléctrica por toda la superficie iluminada, por ello suele determinar el contorno aproximado del campo iluminado de la lámpara (10) electroluminiscente.

La selección del componente usado como plano posterior (16), se lleva a cabo en función de los requisitos medioambientales que se desee satisfacer. Entre dichos componentes se encuentran: una solución cargada de plata, basada en alcohol/ látex, vendida bajo el nombre comercial de *SILVASPRAY™* y una solución cargada de cobre de látex basado en agua, llamada *Caswell Copper*<sup>26</sup>. La patente anuncia una evidencia empírica de que mezclar trazos de plata con la pintura conductora mejora significativamente el rendimiento.

---

<sup>26</sup> *SILVASPRAY™* y *Caswell Copper* son productos de *Caswell, Inc.* (Lyons, Nueva York).

Como alternativa a las pinturas nombradas anteriormente, se puede mezclar virutas de plata en una solución de copolímero acrílico de estireno de base acuosa y amoníaco.

El plano posterior (16) también puede ser un revestimiento metálico aplicado al sustrato (12) por vía química, metalización en vacío, deposición de vapor y pulverización. Se recomienda una resistencia del plano posterior (16) menor a un ohmio por cada 6,45 centímetros cuadrados.

El plano posterior (16) también puede ser transparente si se usa *CLEVIOS™ S V3* o *CLEVIOS™ S V4*<sup>27</sup>. Estos compuestos resultan interesantes en sustratos como vidrio o plástico y para lámparas (10) en las que se desee capas más delgadas.

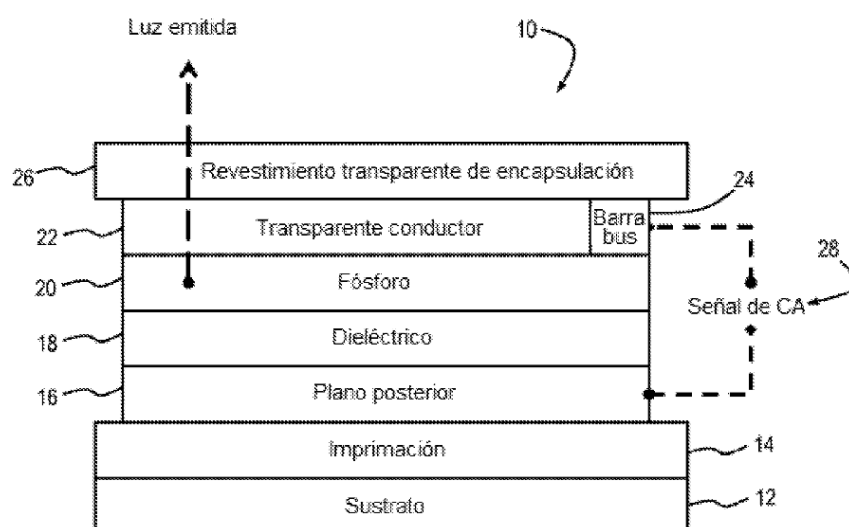


Figura 4.2 Diagrama esquemático de las capas de una lámpara electroluminiscente según una realización de la presente invención – Darkside Scientific, LLC

**Dieléctrico (18):** se trata de una capa aislante aplicada entre el Plano posterior (16) y la Barra Bus (24). Suele componerse de titanato de bario ( $\text{BaTiO}_3$ ), encapsulado en una matriz polimérica caracterizada por una alta capacidad de transmitir un campo electromagnético. La capa dieléctrica (18) debe ser, aproximadamente, una solución 2:1 de copolímero e hidróxido de amonio diluido. A esta solución, se añade  $\text{BaTiO}_3$  humedecido en hidróxido de amonio para generar una suspensión sobresaturada.

La capa dieléctrica tiene dos funciones. En primer lugar, proporciona una barrera aislante entre el plano posterior (16) y las capas de fósforo (20), electrodo superior (22) y barra de bus (24). En segundo lugar, mejora el rendimiento del campo electromagnético generado entre el plano posterior (16) y el electrodo superior (22) cuando se aplica una señal de CA (28).

<sup>27</sup> *CLEVIOS™* producto disponible en *Heraeus Clevios GmbH* (Leverkusen, Alemania).

---

Otro factor notable del dieléctrico (18) es la propiedad fotorrefractiva del BaTiO<sub>3</sub>, cualidad que facilita la propagación de la luz.

**Fósforo (20):** Esta capa resulta una solución 2:1 de copolímero e hidróxido de amonio diluido, aproximadamente. A esta solución, se le añade el sulfuro de zinc dopado con metales como cobre, manganeso y plata (ZnS:Cu, Mn, Ag, etc.) humedecidos previamente en hidróxido de amonio diluido, formando una suspensión sobresaturada (matriz polimérica) altamente permeable electrostáticamente. El ZnS dopado da lugar una emisión espontánea de fotones cuando se excita por un campo electrostático alterno generado por la señal de CA (28).

La capa de fósforo (20) tiene dos funciones. En primer lugar, el fósforo de sulfuro de zinc dopado, encapsulado dentro de la matriz de copolímero, proporciona una barrera aislante adicional entre el plano posterior (16) y las capas electrodo superior (22) y barra de bus (24), a pesar de que el sulfuro de zinc dopado con metal se clasifica como semiconductor. En segundo lugar, una vez excitada, la capa de fósforo es la fuente de luz visible.

La matriz de encapsulamiento se construye a partir de una solución de copolímero acrílico de estireno de base acuosa, como ocurre con el dieléctrico (18). Un ejemplo de esta solución es *DURAPLUS™*<sup>28</sup>, al que se le puede aplicar hidróxido de amonio como diluyente/ agente de secado.

Los revestimientos resultantes, o corteza, del dieléctrico (18) y el fósforo (20) son químicamente inertes durante el procedimiento de curado, tras la eliminación de componentes volátiles. Por ese motivo, dichos revestimientos no reaccionan químicamente con las capas subyacentes o superpuestas con facilidad y como resultado encapsulan y protegen las distribuciones homogéneas del dieléctrico (18) y el fósforo (20).

Durante el proceso de curado, quedan expuestos los extremos abiertos del copolímero de cadena larga del dieléctrico y el fósforo. A medida que se cura la capa secundaria, sus extremos de la cadena se *tejen* con los extremos del otro copolímero formando una unión mecánica fuerte entre capas adyacentes, químicamente diferentes.

**Barra bus (24):** barra bus construida con el mismo material que el plano posterior, siendo una tira de material conductor de impedancia relativamente baja. Su función es proporcionar una ruta de baja resistencia para mejorar la distribución de la corriente eléctrica. Típicamente aplicada en el borde periférico del campo iluminado.

**Electrodo superior (22):** esta capa sirve de revestimiento siendo conductora eléctrica y conformada por un material translúcido transparente a la luz. Puede llevarse a cabo con polímeros conductores (PEDOT), nanotubos de carbono (CNT), óxido de antimonio y estaño (ATO) y óxido de indio y estaño (ITO). Como

---

<sup>28</sup> Producto disponible en Dow Chemical Company (Midland, Michigan).

alternativa se puede usar *CLEVIOS™*, usando alcohol isopropílico como un diluyente/agente de secado, este producto resulta relativamente benigno para el medio ambiente.

La eficiencia del electrodo superior (22) se ve condicionada por sus requisitos de funcionamiento divergentes (transparencia frente conductividad). Frecuentemente es preferible usar un conductor eléctrico más eficiente con el fin de minimizar el espesor de esta capa, para esto se aplica la barra bus (24).

**Revestimiento transparente de encapsulación (26):** capa transparente cuya función es cubrir el sistema contra elementos, contaminación y rayos ultravioleta y ofrecer protección frente descargas eléctricas. Compuesta por cualquier producto basado en agua, esmalte o laca.

#### 4.2.2 Documentación técnica y de seguridad

Las especificaciones conocidas de la presente invención son limitadas. Según sus desarrolladores, la PEL es capaz de soportar más de 90 grados de flexión, debido a no disponer de filamentos internos para su funcionamiento. Las capas plano posterior, dieléctrico, fósforo, electrodo superior y revestimiento de encapsulación forman un espesor de 0,12 mm.



Figura 4.3 PEL aplicada en el fuselaje de un AIRBUS A350 – Businesswire

Su vida útil depende del fósforo usado y es inversamente proporcional al brillo emitido. Como se mencionaba anteriormente, el brillo de esta pintura depende de la tensión y la frecuencia a la que trabaja. Opera a tensiones entre 80 y 400 V y a temperaturas de -40°C a 82°C. La superficie pintada máxima no puede exceder los 0,1858 m<sup>2</sup>, para superficies mayores no se garantiza un correcto funcionamiento.

Propiedad	Plano posterior/barra bus	Dieléctrico	Fósforo	Electrodo superior
Apariencia	Líquido viscoso	Líquido viscoso	Líquido viscoso	Líquido
Olor	Acre	Acre	Acre	Característico
Punto de evaporación	>35°C	>35°C	>35°C	100°C
Punto de inflamación	<23	<23	<23	-
Densidad	1012,893 kg/m <sup>3</sup>	1012,893 kg/m <sup>3</sup>	1012,893 kg/m <sup>3</sup>	1000 kg/m <sup>3</sup>
Normativa VOC	764,49 kg/m <sup>3</sup>	771,679 kg/m <sup>3</sup>	769,283 kg/m <sup>3</sup>	100 kg/m <sup>3</sup>
pH	-	-	-	7-8
Presión de vapor a 20°C	-	-	-	23 hPa
Solubilidad en agua	-	-	-	Completamente miscible
Temperatura de autoignición	-	-	-	No tiene

Tabla 5 Propiedades de la PEL según la presente invención – Darkside Scientific, LLC

#### 4.2.2.1 Estabilidad y reactividad

Durante la producción de PEL, deben evitarse temperaturas superiores a 49 °C y cualquier fuente de ignición posible. Los componentes son incompatibles con agentes oxidantes fuertes, ácidos fuertes y álcalis fuertes. Cuando se calienta hasta la descomposición, emite humo acre y humos irritantes. Contiene solventes que pueden formar monóxido de carbono, dióxido de carbono y formaldehído. No es susceptible a polimerización peligrosa en condiciones normales y es estable en condiciones normales.

#### 4.2.2.2 Peligros de la manipulación de los compuestos

Los compuestos usados en la fabricación de PEL pueden resultar tóxicos e inflamables. La manipulación de estos componentes puede causar irritación ocular grave. Una sobrexposición puede causar irritaciones o reacciones alérgicas en la piel y puede ser nocivo si se inhala, en altas concentraciones de gas, vapor, niebla o polvo, produciendo irritación en ojos, nariz, garganta y pulmones. Por inhalación prolongada, también puede producirse irritación del tracto respiratorio. Su ingesta es nociva, pudiendo provocar efectos

en el sistema nervioso central (somnolencia, mareos, náuseas, dolores de cabeza, parálisis y visión borrosa) y/o daño. Las principales vías de entrada son: contacto con los ojos, ingesta, inhalación o absorción cutánea. Deberán evitarse tomando las medidas preventivas correspondientes.

Se recomienda usar espuma de formación de película de alcohol, dióxido de carbono, producto químico seco, arena seca o niebla de agua para la extinción de incendios provocados por los componentes de PEL.

#### 4.2.2.3 Recomendaciones medioambientales

Los componentes pueden tener efectos ambientales a corto plazo. Para evitarlos, es necesario contener, controlar y eliminar según determine la administración reguladora. No existen datos relacionados con la posible intoxicación del agua. Tampoco se conocen datos respecto la persistencia y degradabilidad.

Los compuestos de la PEL pueden resultar perjudiciales para algunas especies de peces de agua dulce, como la carpa dorada o la trucha arcoíris, y algunas especies de plancton.

Las capas de la pintura electroluminiscente nombradas anteriormente han pasado la normativa RoHS<sup>29</sup> con la que se detecta la ausencia de los elementos restringidos (Pb, Cd, Hg, Cr y Br), se identifica y cuantifica los elementos plásticos y residuos, se cuantifica el contenido de halógenos en residuos plásticos con retardantes a la llama halogenados, se inspeccionan los suelos (elementos contaminantes), se analizan y clasifican metales, se hace un control de calidad de materiales y se clasifican los residuos.

#### 4.2.2.4 Compatibilidad con superficies

La pintura electroluminiscente muestra compatibilidad con plásticos, maderas, metales y fibra de vidrio o fibra de carbono.

### 4.2.3 Intensidad luminosa

Como se adelantaba anteriormente, la pintura electroluminiscente se encuentra en investigación y desarrollo. Si bien, en la década de los 90, la intensidad luminosa<sup>30</sup> que entregaba era cercana a las 20 cd/m<sup>2</sup>, una década más tarde alcanzaba brillos de 350 cd/m<sup>2</sup>. Actualmente, se comercializa pintura electroluminiscente capaz de aportar intensidades de 175 cd/m<sup>2</sup> y se experimenta con fósforos de colores rojo, verde y azul capaces de emitir 725 cd/m<sup>2</sup>.

Los recientes avances en materiales electroluminiscentes artificiales prometen mejoras de rendimiento complementando o reemplazando el componente de ZnS dopado de la formula base para la capa de fósforo. Los materiales más destacados para llevar a cabo esta función son: los compuestos de nitruro de

---

<sup>29</sup> Restriction of Hazardous Substances: hace referencia a la Directiva 2011/65/UE que restringe algunas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos. En España, dicha directiva está transpuesta por medio del Real Decreto 219/2013.

<sup>30</sup> Intensidad luminosa por unidad de superficie pintada.



---

galio (GaN), sulfuro de galio (GaS), seleniuro de galio (GaSe<sub>2</sub>) y aluminato de estroncio (SrAl) dopados con diversos elementos metálicos han demostrado su valor como materiales EL.

Otro material que puede ser utilizado para complementar o reemplazar el componente de ZnS dopado de la fórmula base para la capa de fósforo es *Quantum Dots* (puntos cuánticos). Esta es una tecnología relativamente reciente que introduce un nuevo mecanismo de emisión a la familia de los materiales EL. En lugar de emitir un ancho de banda (color) de luz determinado en base a las características del material dopante, la frecuencia de emisión depende del tamaño de la partícula y, de esta manera, puede ser configurado para emitir luz a través de un amplio espectro, incluyendo infrarrojos. *Quantum Dots* también presume de notables características fotoluminiscentes y electroluminiscentes. Estas cualidades presentan beneficios funcionales para las lámparas EL producidas según la patente de procedimiento descrita anteriormente.



---

## CAPÍTULO 5. ELEMENTOS CONTENEDORES Y SUSTRATOS DEL SISTEMA

### 5.1 Balsa salvavidas

Toda embarcación que navegue dentro de las zonas de navegación 1, 2, y 3<sup>31</sup>, debe llevar una o varias balsas salvavidas con capacidad para todas las personas permitidas a bordo. Las balsas deben ser revisadas anualmente. Se clasifican en: SOLAS homologada por la Dirección General de la Marina Mercante DGMM, SOLAS homologada por un organismo notificado con la marca de rueda de timón (de acuerdo con lo dispuesto en la Orden FOM/188/2010)<sup>32</sup> y NO SOLAS siempre que sean homologadas por la DGMM o ISO 9650 homologadas por la DGMM para la navegación en las zonas 2 y 3.

El material de construcción de una balsa salvavidas es un ensamblaje constituido por un tejido base y un revestimiento de caucho de doble cara. En su interior, disponen de paquetes de emergencia en los que se incluyen aparejos de pesca, cuchillo, achicador, ancla, botiquín, señales fumígenas, pirotecnias, etc.

Para el presente estudio, se ha aplicado la PEL en una balsa ISO 9650-1, diseñada para navegación de altura. Se ha elegido esta balsa con la intención de probar la eficacia de la pintura en una zona de navegación ilimitada. Las características de una balsa salvavidas ISO 9650-1 se muestran en la Tabla 6.

Como se ha descrito anteriormente, la pintura electroluminiscente se caracteriza por su flexibilidad y afinidad con topologías complejas, este aspecto es especialmente relevante para su aplicación en la balsa salvavidas, que debe mantenerse plegada en tanques herméticos hasta su uso. También resulta adecuada la delgadez de su espesor, un aspecto que se trata en el apartado *Peso del sistema PEL*, en el desplegado automático.

---

<sup>31</sup> Distancias superiores a 25 M de la costa.

<sup>32</sup> Orden FOM/188/2010, de 25 de enero, por la que se actualizan las condiciones técnicas del Real Decreto 809/1999, de 14 de mayo, por el que se regulan los requisitos que deben reunir los equipos marinos a ser embarcados en los buques, en aplicación de la Directiva 96/98/CE, modificada por la Directiva 98/85/CE. BOE núm. 31, de 5 de febrero de 2010. La Directiva 96/98/CE ha sido derogada por la Resolución legislativa del Parlamento Europeo, de 15 de abril de 2014, sobre la propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo sobre equipos marinos.

Capacidad (mín/máx)	4 a 12 personas
Temperatura de hinchado	Grupo A: -15°C a +65°C
	Grupo B: 0°C a +65°C
Suelo	Grupo A: Doble fondo aislante
	Grupo B: Simple fondo
Francobordo	250 mm (4 pers.)
	300 mm (>4 pers.)
Espacio interior/persona	0,372 m <sup>2</sup>
Flotabilidad/persona	96 litros
Toldo	Desplegado automático
Luz exterior	4,3 cd
Bandas reflectantes	1500 cm <sup>2</sup>
Kit supervivencia	Emergencia > 24 h/Estándar <24 h
*Dimensiones ISO-RAFT 12	Altura = 1,350 m; Lado = 2,667 m

Tabla 6 Características de una balsa salvavidas para navegación de altura – ISO 9650-1

### 5.1.1 Cálculo de superficie

Para el cálculo de la superficie de la balsa salvavidas  $S_{BT}$ , se ha dividido su estructura en dos módulos, siendo la suma de las áreas de los flotadores  $S_F$  con la superficie del toldo  $S_T$ . La primera superficie calculada ha sido la de los flotadores  $S_F$ , conociendo que la balsa dispone de un suelo cuadrado de 2,667 m de lado  $L$  y un francobordo  $f$  de 0,300 m. Primero se ha calculado la superficie de uno de los lados de los flotadores  $S_{LF}$  y a continuación, se ha realizado el producto de  $S_{LF}$  con el número de lados de la balsa.

$$S_{LF} = L \cdot f = 800 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$S_F = 4 S_{LF} = 3,2 \text{ m}^2$$

Se conoce que la altura hundida de los flotadores es despreciable, por lo que se ha obtenido la altura del toldo  $h$  restando a la altura total  $H$  (1,350 m) el francobordo  $f$ .

$$h = H - f = 1050 \text{ mm}$$

Debido a la falta de normalización para el escantillado del toldo, se ha obtenido la proporción entre la profundidad  $b$  y la altura  $h$  del toldo a partir de una fotografía de una balsa salvavidas hinchada. A continuación, se han obtenido los lados inclinados  $a$  y  $c$  usando Pitágoras.

$$b = 0,479 \cdot h = 503,1 \text{ mm}$$

$$a = \sqrt{h^2 + b^2} = 1164 \text{ mm}; c = \sqrt{h^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} = 1697,269 \text{ mm}$$

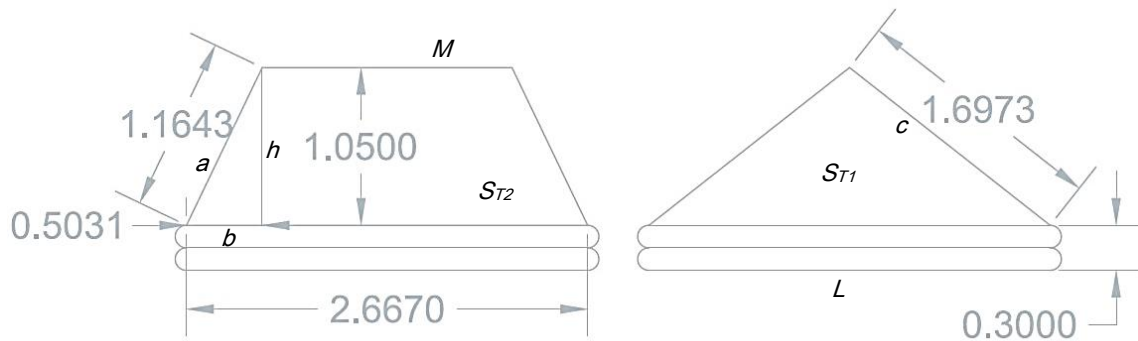


Figura 5.1 Dimensiones de la balsa salvavidas

Por último, la superficie total del toldo  $S_T$  es la suma de los productos de las superficies  $S_{T1}$  y  $S_{T2}$ , equivalentes a la superficie del alzado y perfil.

$$S_{T1} = \frac{L \cdot a}{2} = 1,552 \text{ m}^2; S_{T2} = c \cdot \frac{L+M}{2} = 3,676 \text{ m}^2$$

$$S_{BA} = 1,552 \text{ m}^2$$

$$S_{BP} = 3,676 \text{ m}^2$$

Como se ha introducido anteriormente, la intensidad luminosa es la densidad de flujo luminoso por unidad de área y de ángulo sólido, centrado en un punto en el espacio y propagándose en una dirección específica. Por eso se ha considerado dos superficies, estudiando la propagación de la luz en dirección al vector normal.

Finalmente, se calcula la superficie total de la balsa  $S_{BT}$  para *Peso y costes*.

$$S_{BT} = 10,456 \text{ m}^2$$

## 5.2 Casco

El casco presenta mejor acceso para la instalación y mantenimiento del sistema PEL. Permite la disposición de cables, inversores y baterías en el interior de tambuchos. Ofrece un sustrato de mayor superficie, limitado por la eslora, la manga y el francobordo del buque. En contrapartida, el Rango Geográfico es reducido debido a la altura de la señal luminosa. Además, la pintura queda notablemente expuesta a la corrosión y posibles impactos o roces que pueden generar mal funcionamiento.

El casco constituye un sustrato de: madera, materiales compuestos, acero, hormigón, fibras de algodón, brea, barniz, pintura o resina. Los cascos fabricados con materiales compuestos, se encuentran recubiertos por una resina específica llamada *topcoat*. Esta resina tiene la particularidad de contener una pequeña cantidad de parafina, que emerge al exterior durante el proceso de curado. La parafina tiene la función de crear una pequeña película que aísla la resina de humedades exteriores. Se desconoce si puede resultar un problema de adhesión para la PEL.

### 5.2.1 Cálculo de superficie

El cálculo de superficie del casco  $S_{CT}$ , se ha realizado considerando un prisma de longitud equivalente a la mediana entre la eslora del casco y la eslora de flotación, de anchura igual a la manga y de altura igual al francobordo. Simplificar las formas del barco permite despreciar las variaciones de forma entre embarcaciones y agilizar los cálculos. Por este motivo, también se ha asumido errores en el coeficiente de correlación  $R$  que implican cierta incertidumbre. Cabe destacar que para cálculos precisos no se recomiendan regresiones cuyo coeficiente de correlación  $R$  sea menor de 0,6. En Anexo 5 se muestra las tablas y regresiones mediante las que se ha obtenido los siguientes valores.

La eslora mediana obtenida para una eslora total de 13,434 m es de 12,661 m, con un coeficiente de correlación igual 0,625. La manga obtenida para una eslora total de 13,434 m es de 4,146 m, con un coeficiente de corrección de 0,151.

Por la falta de datos de francobordo, se ha usado el valor  $f$  igual a 1,42 m del Nauticat 42, un velero de 13 m de eslora, diseñado por Kaj Gustaffson y construido con fibra de vidrio y poliéster por Nauticat Yachts (Finlandia) cuya producción empezó en 1995.

Para el cálculo de la superficie visible del casco  $S_C$  se han considerado la posición del prisma en alzado  $S_{CA}$  y perfil  $S_{CP}$ .

$$S_{CA} = B \cdot f = 5,887 \text{ m}^2$$

$$S_{CP} = L_M \cdot f = 17,979 \text{ m}^2$$

La superficie total del casco se obtiene del doble de la suma de ambas.

$$S_{CT} = 47,732 \text{ m}^2$$

---

## 5.3 Mástil

El mástil es la pieza de la embarcación encargada de sujetar las velas. En la actualidad se pueden encontrar fabricados en madera, aluminio o materiales compuestos. Las dimensiones de un mástil están principalmente ligadas a sus cargas de tracción y compresión que están más influenciadas por el tamaño de su sección que por el espesor. Constituye un sustrato de topología compleja de madera, barniz, aluminio, pintura o resina. La altura del mástil incrementa el Rango Geográfico de la señal, pero su ubicación dificulta la disposición de los elementos que integran el sistema.

Para obtener una altura de mástil que refleje con cierta precisión la náutica de recreo, se ha obtenido la eslora media de un muestreo aleatorio de 50 embarcaciones monocasco a partir de una base de datos<sup>33</sup>. La eslora mínima del muestreo se sitúa en 6,98 metros, su máxima en 23,50 metros y la eslora media calculada en 13,434 metros. A partir de una regresión estadística con quince veleros de entre 13 y 14 metros de eslora, se ha obtenido una altura de mástil de 20,135 metros<sup>34</sup>.

### 5.3.1 Cálculo de superficie

El cálculo de las dimensiones del mástil se consigue mediante las inercias que, según la NBS, dependen del material de fabricación, el tipo y lugar de sujeción de la plataforma del mástil, el brazo adrizante, la longitud de los paneles estudiados, tipo de stay, etc. Al no contar con estos requisitos, se ha obtenido los datos para dimensionar el mástil del estudio *Scantling of mast and rigging of sail boats: A few hints from a test case to develop improved design procedures* de la Universidad de Ginebra. En este estudio se analiza los esfuerzos a los que se somete un mástil de aluminio en una embarcación típica de 13,716 metros de carácter *cruiser-racer*. Se observa que la sección más crítica se encuentra en el panel más bajo, para condiciones de contorno ( $k < 1$ )<sup>35</sup> y recibe una inercia longitudinal  $I_y$  de 2638 cm<sup>4</sup> y una inercia transversal  $I_x$  de 844 cm<sup>4</sup>. Las medidas se determinan usando la Tabla 24 del Anexo 5.

Con esto se ha determinado unas dimensiones de 274 mm de largo y 185 mm de ancho. Considerando que se pinta un metro del mástil desde tope de palo hacia abajo, se ha procedido a calcular la superficie vista en alzado  $S_{MA}$  y perfil  $S_{MP}$ .

$$S_{MA} = 0,185 \text{ m}^2$$

$$S_{MP} = 0,274 \text{ m}^2$$

La superficie total pintada del mástil  $S_{MT}$  es:

$$S_{MT} = 0,918 \text{ m}^2$$

---

<sup>33</sup> Base de datos proporcionada por *Dominion Marina Media*.

<sup>34</sup> Ver anexo Anexo 5.

<sup>35</sup> k: factor de soporte dependiente de las condiciones de contorno.





---

## CAPÍTULO 6. APLICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LA SEÑAL LUMINOSA

Para la aplicación de la IALA se han contemplado tres casos en función de la ubicación de la luz:

- **Caso 1:** el elemento pintado es una balsa salvavidas SOLAS, el casco del buque o se enciende una bengala de mano.
- **Caso 2:** el elemento pintado es el mástil de un velero.

El objetivo de la aplicación de IALA es hallar el rango visual de la señal, limitado por el rango geográfico y el alcance luminoso. Se consideran diferentes y equipararlo con las bengalas de mano.

### 6.1 Rango geográfico

El rango geográfico está determinado por la ecuación ( 3 ):

$$Rg = 2,03 \cdot (\sqrt{h_o} + \sqrt{H_m}) \quad ( 3 )$$

Dónde:

Rg = rango geográfico (M)

$h_o$  = altura del observador (m)

$H_m$  = altura de la señal (m)

El factor 2,03 explica la refracción atmosférica.

De la ecuación ( 3 ) se obtiene la siguiente tabla:

Altura del observador	Elevación de la marca (m)										
	0	1	2	3	4	5	10	50	100	200	300
1	2,030	4,060	4,901	5,546	6,090	6,569	8,449	16,384	22,330	30,739	37,191
2	2,871	4,901	5,742	6,387	6,931	7,410	9,290	17,225	23,171	31,579	38,031
5	4,539	6,569	7,410	8,055	8,599	9,078	10,959	18,893	24,839	33,248	39,700
10	6,419	8,449	9,290	9,935	10,479	10,959	12,839	20,774	26,719	35,128	41,580
20	9,078	11,108	11,949	12,594	13,138	13,618	15,498	23,433	29,378	37,787	44,239
30	11,119	13,149	13,990	14,635	15,179	15,658	17,538	25,473	31,419	39,827	46,279
50	14,354	16,384	17,225	17,870	18,414	18,893	20,774	28,709	34,654	43,063	49,515
100	20,300	22,330	23,171	23,816	24,360	24,839	26,719	34,654	40,600	49,009	55,461
200	28,709	30,739	31,579	32,225	32,769	33,248	35,128	43,063	49,009	57,417	63,869
300	35,161	37,191	38,031	38,677	39,221	39,700	41,580	49,515	55,461	63,869	70,321

Tabla 7 Rango geográfico en función de la altura del observador y la elevación de la marca

Se ha calculado el Rango geográfico para dos casos que determinan el valor máximo y mínimo de éste:

- Valor máximo: para el caso 2, en el que el elemento pintado es el mástil. Considera una altura del observador  $h_o$  de 300 m sobre el nivel del mar, pudiendo tratarse de un helicóptero en operaciones de búsqueda y rescate o un observador en tierra. Se considera una altura de la señal  $H_m$  igual a la del mástil 20,135 m respecto la DWL, como se ha visto en *Elementos contenedores del sistema*. Substituyendo dichos datos en la ecuación ( 3 ) se obtiene un rango geográfico de 44,270 M, equivalentes a 82 km.
- Valor mínimo: para el caso 1, en el que la balsa salvavidas, el casco o la bengala de mano son los emisores de luz. Se ha considerado una altura del observador  $h_o$  aproximada de 2,5 m, suponiendo un observador ubicado en la cubierta de una embarcación de recreo. Por otro lado, se ha propuesto una altura de la señal  $H_m$  de 1,5 m equivalente a la altura de la balsa, el francobordo del casco o la posición de la bengala de mano encendida.

Substituyendo dichos datos en la ecuación ( 3 ) se obtiene un rango geográfico de 5,696 M, equivalentes a 11 km.

Con esto, se conoce que el Rango Geográfico se situara en un valor entre las 6 y las 82 millas náuticas.

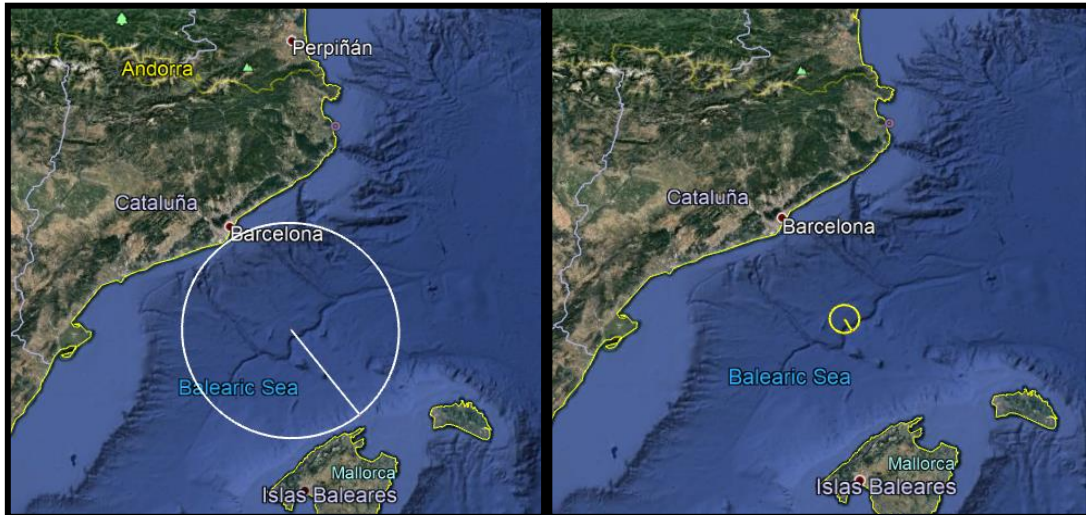


Figura 6.1 Representación de los rangos geográficos máximo (izquierda) y mínimo (derecha) en una travesía de Barcelona a las Islas Baleares

Conociendo los valores máximo y mínimo del rango geográfico, se ha considerado los valores intermedios. Estos son:

En el caso 2, considerando una altura del observador  $h_o$  de 2,5 m, se obtiene un rango geográfico de 12,319 M, equivalentes a 23 km.

Por otro lado, para el caso 1, para un observador a 300 m de altura  $h_o$ , se obtiene un rango geográfico de 37,647 M, equivalentes a 70 km.

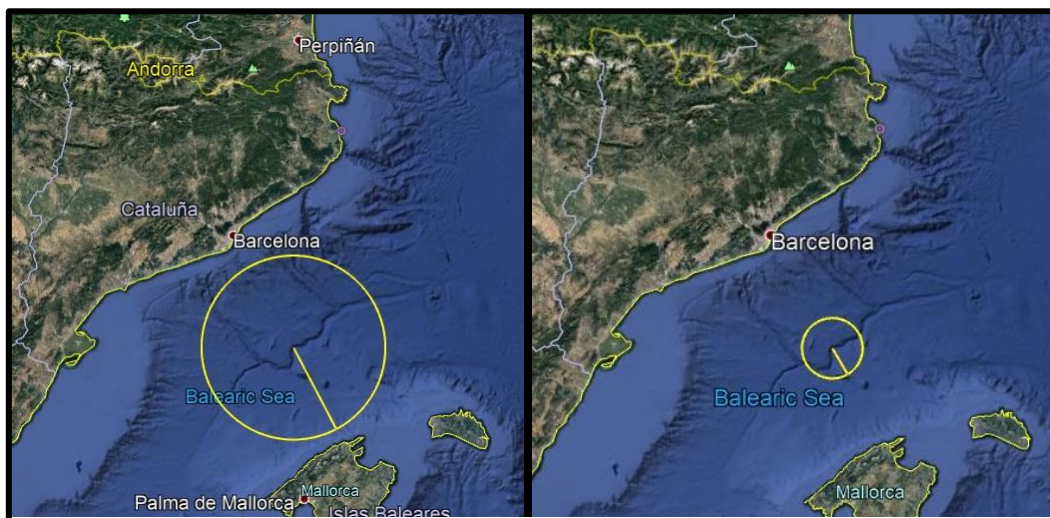


Figura 6.2 Representación de los rangos geográficos intermedios para el caso 2 (izquierda) y caso 1 (derecha) en una travesía de Barcelona a Islas Baleares

A modo de resumen, se muestra la Tabla 8 con las cuatro distancias en millas náuticas:

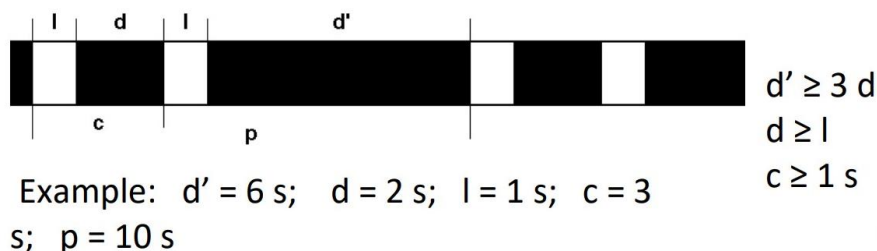
Altura del observador	Rango geográfico del caso 1 (M)	Rango geográfico del caso 2 (M)
$h_{2,5}$	5,696	12,319
$h_{300}$	37,647	44,27

Tabla 8 Rango geográfico para dos alturas de observador

## 6.2 Diseño de la señal luminosa marítima

### 6.2.1 Destello característico de la señal

El destello característico para emergencias señalizadas por pintura electroluminiscente se ha diseñado a partir de la recomendación *E-110 Carácter Rítmico de Luces de Ayuda a la Navegación*. Se ha diseñado basándose en el carácter típico de *peligro aislado* que se define por dos destellos en un periodo de 5 o 10 segundos:



Donde:

p: periodo

l: duración del encendido

d: tiempo de apagado entre destellos del mismo periodo

d': tiempo tras el segundo encendido hasta el siguiente periodo

Con esto, se ha aumentado la duración del destello I a 4 s. A pesar de que se ha buscado la mayor duración de encendido para obtener la mayor intensidad eficaz, por encima de 5 s la luz se consideraría luz fija y para considerarse destello, la duración del apagado debe ser mayor que la del encendido. Se ha mantenido el número de destellos, se ha mantenido en 3 s el tiempo entre destellos d y se ha aumentado dos segundos el tiempo tras el segundo encendido hasta el siguiente periodo d' (9 s). De esta manera, se ha obtenido un periodo p de 20 s. El destello característico<sup>36</sup> de la señal se muestra en la Figura 6.3:

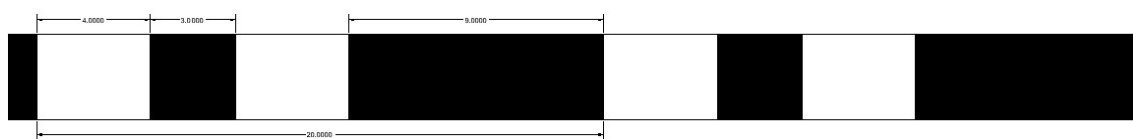


Figura 6.3 Destello característico de la señal PEL

### 6.2.2 IALA serie de recomendaciones E-200. Señales Luminosas Marítimas

La serie de recomendaciones E-200 tiene la función de proporcionar orientación sobre las características básicas recomendadas de las señales luminosas marítimas sin asistir acerca de los aspectos técnicos del diseño de las señales luminosas marítimas, ni de su operación o gestión. Persigue cumplir las funciones de IALA, procurando la Seguridad de la Navegación, la eficiencia del transporte marítimo y la protección del medio ambiente. La serie E-200 se construye por 5 partes individuales descritas a continuación:

**Parte 0 – Perspectiva general.** Proporciona información preliminar y aporta una perspectiva general acerca de las recomendaciones incluidas en la serie.

**Parte 1 – El color.** Describe las características espectrales recomendadas como, por ejemplo, las regiones cromáticas recomendadas para las señales luminosas marítimas. Se proporciona información acerca de cómo y por qué estas regiones se han ajustado y sobre el riesgo de la confusión del color.

**Parte 2 – El cálculo, la definición y la notación del alcance luminoso.** Describe cómo varía la iluminación en el ojo del observador en función de la distancia y cómo se cuantifica el alcance luminoso. Incluye la definición de alcance luminoso, así como los criterios para realizar el cálculo del mismo. Se describen las fórmulas que se deben utilizar para realizar dichos cálculos. También se numeran los factores que deben considerarse en el diseño del alcance de señales luminosas marítimas.

<sup>36</sup> El destello característico ampliado se muestra en mayor detalle en el Anexo 6.

**Parte 3 – La medición.** Se describen los principios recomendados para la medición de las características fotométricas y colorimétricas de las señales luminosas marítimas. Se proporcionan recomendaciones sobre los procedimientos y los equipos de medición, así como detalles acerca de los métodos, tales como la calibración fotométrica, la telefotometría de campo, la colorimetría de triple estímulo y la espectrorradiometría.

**Parte 4 – La determinación y el cálculo de la intensidad eficaz.** Describen el cálculo de la intensidad eficaz de una señal luminosa de destellos. Se incluye cuatro métodos distintos para el cálculo de la intensidad eficaz y se describe sus limitaciones. También proporciona recomendaciones sobre cuándo y para qué tipo de destello se pueden aplicar tales métodos.

**Parte 5 – La estimación del rendimiento de los elementos ópticos.** Describe cómo se calcula el rendimiento de elementos ópticos (intensidad) cuando la medición directa es imposible o inviable, considerando el ángulo de divergencia de los haces de varios tipos de aparatos de proyección de haces de luz. Este método es aplicable cuando se carece de información sobre mediciones de combinaciones similares de fuente luminosa y sistema óptico.

Existen dos maneras principales de emplear la serie de recomendaciones E-200: de arriba abajo y de abajo arriba. La primera manera, está configurada para, a partir de los requisitos navegacionales, deducir la intensidad luminosa necesaria bajo ciertas condiciones de servicio. Si se conoce el diseño del elemento óptico, a partir de aquí será posible determinar la intensidad fotométrica. La segunda manera, considera una determinada baliza de la que se podrá medir o calcular la intensidad fotométrica. A continuación, los resultados se podrán usar para obtener el valor de la intensidad eficaz bajo determinadas condiciones de servicio y, por lo tanto, el alcance luminoso.

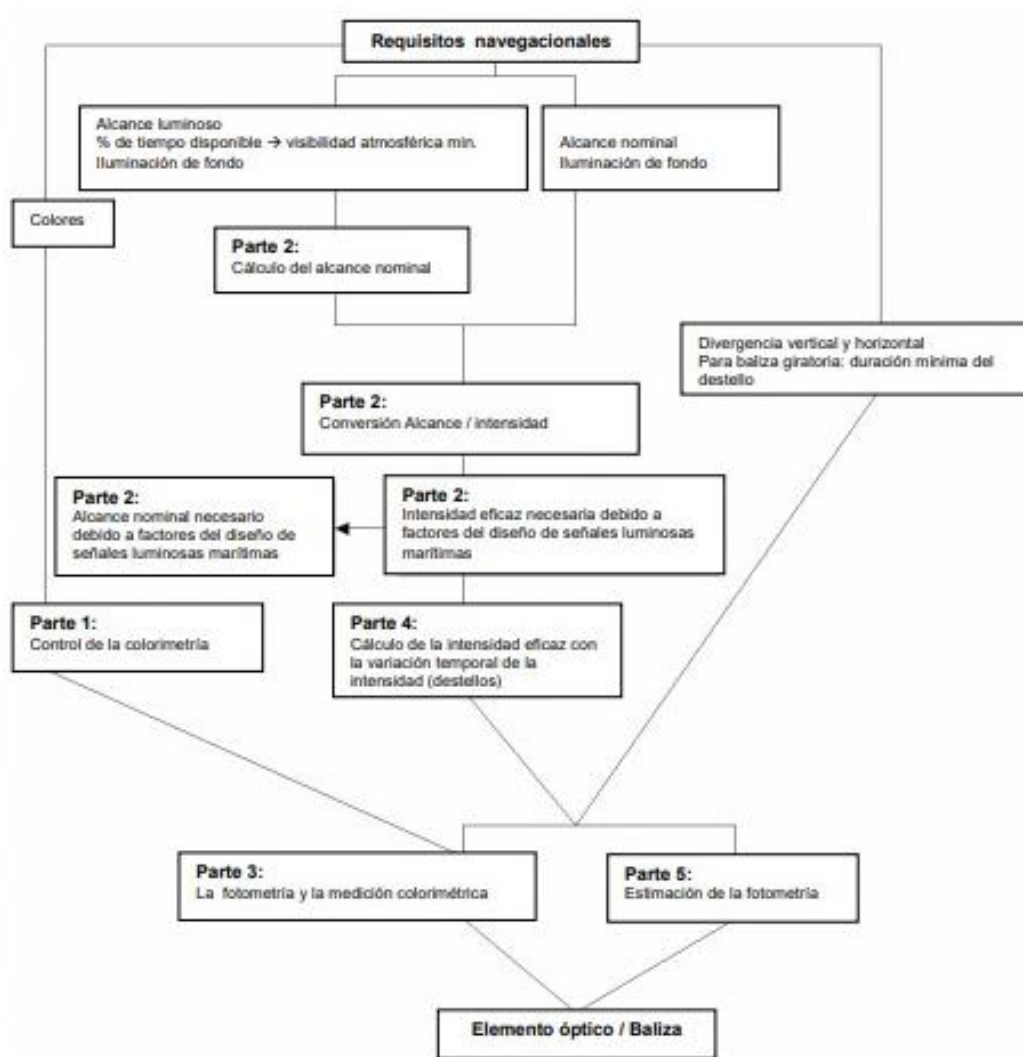


Figura 6.4 Esquema de la serie E-200 de documentos – IALA AISM

En el presente estudio se ha aplicado la serie E-200 de abajo arriba para la pintura electroluminiscente.

En la mayoría de los casos, el color de una señal luminosa (Parte 1) se puede tratar por separado. Ejerce, no obstante, una influencia sobre la descripción de los requisitos navegacionales y las mediciones (Parte 3).



### 6.2.3 Color de la señal

IALA describe recomendaciones acerca de los colores empleados para las ayudas iluminadas a la navegación. Las regiones de color definidas por IALA están en concordancia con las indicadas en la Norma S 004/E 20019 de la CIE<sup>37</sup> pero los límites de color de cada región difieren en algunos casos.

Las luces de señalización de ayuda marina a la navegación deben utilizar un sistema de seis tonos compuestos por el color blanco, negro, verde rojo, amarillo y azul, tal como se define en la recomendación de la IALA E-200-1<sup>38</sup>.

El estándar colorimétrico de la CIE se basa en tres colores de referencia que en combinación variada puede generar el espectro visual de los colores. Una función particular del color es descrita mediante los símbolos;  $X / Y / Z$  que representan las proporciones de los colores de referencia.

La identificación de los colores se efectúa mediante dos valores (x,y). Estas coordenadas determinan la disposición de los colores en un diagrama de cromaticidad bidimensional obtenido de las relaciones de los tres valores de estímulo, tales como:  $X + Y + Z = 1$ .

$$x = \frac{X}{Y + X + Z} ; y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (4)$$

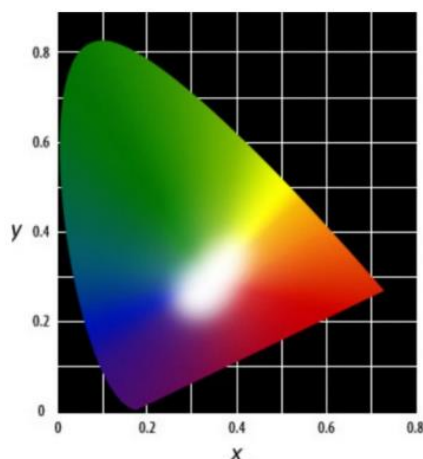


Figura 6.5 Zonas de color en el diagrama de cromaticidad – CIE 1931

<sup>37</sup> Comisión Internacional de Iluminación (1913, Viena, Austria) es la autoridad internacional de la luz, iluminación, color y regiones cromáticas.

<sup>38</sup> Señales Luminosas Marítimas – Los Colores (diciembre de 1977). Describe las características espectrales recomendadas como, se proporciona información acerca de cómo y por qué las regiones cromáticas se han ajustado y sobre el riesgo de la confusión del color, se define una nueva región cromática para las luces azules y se proporciona alguna orientación sobre el uso de las mismas.



Los estándares de color CIE para la señalización marina son representados como áreas en el diagrama de cromaticidad. Los límites óptimos se representan mediante líneas sólidas, mientras que los límites temporales de IALA se representan mediante líneas de trazos:

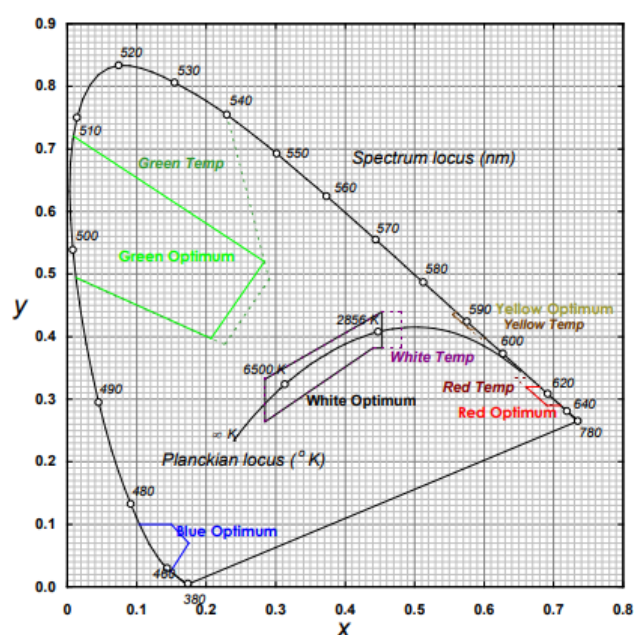


Figura 6.6 Regiones de cromaticidad de los colores recomendados por IALA para señales luminosas en términos del sistema colorimétrico normalizado – CIE 1931

Las coordenadas que conforman las áreas de las regiones cromáticas óptimas recomendadas por la IALA se muestran también en una tabla:

Color	1		2		3		4		5	
	x	y	X	y	x	y	x	Y	x	y
Rojo	0,71	0,29	0,69	0,29	0,66	0,32	0,68	0,32		
Amarillo	0,5865	0,413	0,581	0,411	0,555	0,435	0,56	0,44		
Verde A	0,009	0,72	0,284	0,52	0,207	0,397	0,013	0,494		
Verde B	0,2296	0,7543	0,284	0,52	0,207	0,397	0,013	0,494		
Blanco	0,44	0,382	0,285	0,264	0,285	0,332	0,453	0,44	0,453	0,382
Azul	0,104	0,1	0,15	0,1	0,175	0,07	0,149	0,025		

Tabla 9 Regiones cromáticas óptimas recomendadas – IALA AISM

Para determinar la aceptabilidad de luces coloreadas, filtros o pinturas para aplicaciones de señalización marina, se debe conocer sus coordenadas cromáticas.

El color del fotón emitido por la señal estudiada, depende del átomo del que proviene. Los cristales de sulfuro de zinc, ZnS y fósforo producen el color en función del metal con el que son dopados. Se usa el cobre para obtener el verde, la plata para el azul y el manganeso para el naranja. Se usan pinturas, gotas de agua y otras sustancias translucidas para obtener una gama de colores y efectos más amplia.

Debido a esta dependencia del color con el fósforo y el método de producción y al no ser posible realizar los ensayos fotométricos y colorimétricos de la señal, no se ha dispuesto de información concreta sobre el color de la PEL. Esta información también se encuentra protegida por el secreto de patente.

En la **tabla**, se muestran coordenadas de color de diferentes fósforos en paneles LEC, pero cabe recalcar que estos valores difieren de los de la PEL y no se deben tomar como referencia:

Color	Fósforo	Coordenadas color CIE	
		x	y
Rojo	ZnS:Mn/Filtro	0,65	0,35
	ZnS:Sm,Cl	0,64	0,35
	CaS:Eu	0,68	0,31
Verde	ZnS:Tb,F	0,32	0,6
Azul	CaGa <sub>2</sub> S <sub>4</sub> :Ce	0,15	0,19
	ZnS/SrS:Ce/Filtro	0,1	0,26

Figura 6.7 Coordenadas de color de fósforos en paneles LEC – Electroluminescence Light Sources, Tim Pohle

## 6.2.4 Estimación del rendimiento de elementos ópticos

Se recomienda determinar el rendimiento de los elementos ópticos mediante la medición directa, haciendo uso de la Recomendación E-200-3. Sin embargo, esto no ha resultado posible debido al precio de la pintura electroluminiscente y de los medidores fotométricos, que son elevados. A pesar de esto, cuando la medición directa no ha sido posible, el rendimiento se ha estimado de la siguiente manera:

### 6.2.4.1 Tipos de fuente luminosa

Las fórmulas descritas en esta recomendación son aplicables a fuentes de esfera con una luminancia homogénea. Unos factores de corrección adicionales permiten la realización de cálculos aproximados para

---

lámparas eléctricas de rejilla o parrilla que, pese a mostrar notables diferencias con la PEL, son el tipo de fuente luminosa más semejante que considera la normativa.

#### 6.2.4.2 Intensidad luminosa de fuentes luminosas

La intensidad luminosa aportada por la PEL<sup>39</sup> es de 175 cd/m<sup>2</sup>. Como se resaltaba en *Fotometría de señales de navegación por luz*, no debe confundirse la intensidad luminosa por unidad de superficie pintada con la luminancia. Para el cálculo de la luminancia se considera la fuente luminosa como una esfera de luminosidad homogénea para la que se mide la luminancia media en el sentido del eje del sistema óptico. Se obtiene mediante la ecuación ( 5 ):

$$L = \frac{I}{S} \quad (5)$$

Dónde:

L: luminancia media de la fuente, en cd/m<sup>2</sup>

I: intensidad luminosa de la fuente luminosa, en una dirección determinada, en cd.

S: el área proyectada de la fuente luminosa, en m<sup>2</sup>, sobre una superficie plana normal en el eje óptico.

Se ha obtenido la intensidad luminosa I de la PEL para una superficie de 0,1858 m<sup>2</sup> que corresponde a la máxima superficie que se puede pintar<sup>40</sup>.

$$I = 32,515 \text{ cd}$$

La intensidad luminosa corregida I<sub>0</sub> de la señal se obtiene del producto por los coeficientes correctores debidos a las pérdidas por reflexión y transmisión y el efecto de acristalamiento producidos en la matriz de encapsulamiento.

Se ha considerado un coeficiente 0,92 para las pérdidas de reflexión y transmisión, propio de sistemas de plástico, en la matriz de encapsulamiento. Por otro lado, la intensidad sufre una reducción debido al efecto de acristalamiento de la linterna que, para condiciones prácticas de servicio, corresponde al 25%.

$$I_0 = I \cdot 0,92 \cdot 0,75$$

$$I_0 = 22,435 \text{ cd}$$

La estimación de las intensidades y divergencias de haces de luz son una aproximación *grosso modo* del rendimiento, es probable que el nivel de precisión no supere ±20%. Las estimaciones descritas deben confirmarse, cuando sea posible, mediante medición directa. No obstante, la estimación por medio de los

---

<sup>39</sup> El valor de intensidad luminosa usado corresponde a productos comercializados actualmente.

<sup>40</sup> Como se anunciaba anteriormente, esta superficie es la máxima recomendada por *daskside scientific, LLC*. Para superficies mayores, no se garantiza el correcto funcionamiento.

métodos descritos, se considera una herramienta útil en el diseño y modificación de señales luminosas de ayuda a la navegación.

### 6.2.5 Determinación y cálculo de la intensidad luminosa

En primer lugar, cabe destacar que la intensidad eficaz es la intensidad luminosa de una luz fija, de igual distribución relativa que la de una luz de destellos y con el mismo alcance luminoso. La intensidad eficaz es un concepto asociado a la iluminancia en niveles de umbral de detección. En el umbral de detección no se puede discernir el color o la duración de un destello y la probabilidad de detección es muy grande, pero no muy fiable. No debe confundirse la intensidad eficaz con el nivel de brillo de una señal.

En la Conferencia Técnica Internacional de Organismos Responsables de la Señalización Marítima de 1933, se acordó un *umbral práctico* de 0,2 microlux. Este umbral tiene un valor práctico, en términos de la iluminancia, a la hora de ver durante la noche señales luminosas de ayuda a la navegación contra un fondo oscuro. Sin embargo, 0,2 microlux no es el nivel de iluminancia en el umbral de detección, sino que es un nivel superior, por lo que se puede detectar de manera fiable tanto el color como la duración del destello de una luz. Esto desemboca en un problema; no debería aplicarse este valor de iluminancia, por ser excesivamente restrictivo, a pesar de que se hace normalmente.

La intensidad aparente es la intensidad luminosa de una luz fija que corresponde a un destello, en términos de brillo.

Con esto, IALA anuncia:

- El punto del umbral de detección real no es de ningún interés práctico para el marinero;
- La intensidad eficaz es un concepto que solo cobra sentido en el umbral de detección real (el umbral de detección no es de ningún interés práctico) y por esto se está investigando la posibilidad de, eventualmente, eliminar la utilización de la intensidad eficaz;
- Se mantiene el nivel de 0,2 microlux como nivel de iluminancia para usos prácticos;
- Se están desarrollando modelos de la intensidad aparente para comparar el brillo de luces con diferentes pautas de destello;
- Mientras los modelos de intensidad aparente no reemplacen los modelos actuales de intensidad eficaz, se continuará recomendado la utilización de modelos de intensidad eficaz;
- Los actuales modelos de intensidad eficaz subestiman el rendimiento de las luces con duraciones cortas del destello con respecto a las luces con destellos más largos bajo las mismas condiciones prácticas de observación.

El ámbito de aplicación de la recomendación E-200-4 incluye todas aquellas señales luminosas de ayuda a la navegación marítima de destellos con una duración igual o inferior a cinco segundos.

A continuación, se ha calculado la intensidad eficaz del destello diseñado para la señal por PEL cuando se percibe en el umbral acromático de iluminancia.

---

#### 6.2.5.1 Intensidad eficaz de una luz rítmica

El alcance en que un observador apenas verá un destello de luz puede describirse en términos de un único parámetro, llamado intensidad eficaz. Cuando un destello apenas es percibido, se puede obtener una medición cuantitativa de la eficacia de su luz comparándola con una luz estacionaria. Por esto se considera como equivalente la intensidad eficaz  $I_e$  del destello a la intensidad  $I$  de una luz fija en términos de detección en el umbral de la percepción visual.

Con el propósito de que los métodos de evaluación sean sencillos, universales y precisos, se ha limitado las observaciones a ciertos valores normalizados de referencia:

- Observador joven con visión normal
- Luz percibida con visión foveal y en el umbral acromático.
- El ángulo subtendido de la fuente luminosa desde el ojo del observador  $\leq 1'$ .
- Luz de color blanco
- Luminancia de fondo  $\leq 10^{-2}$  cd/m<sup>2</sup> (noche)
- Luminancia de fondo dependiente de las condiciones meteorológicas diurnas y estacionales.

El método de evaluación, usado y recomendado por IALA en el cálculo de la intensidad eficaz  $I_e$ , hace uso de la constante de tiempo del sistema visual  $a$ . Esta constante, se relaciona estrechamente con la constante de tiempo de la expresión Blondel-Rey de la intensidad eficaz  $I_e$  de destellos de forma rectangular.

$$\frac{I_e}{I_0} = \frac{t}{a + t} \quad (6)$$

Donde:

$I_0$ : es la intensidad del destello en su valor máximo

$t$ : es la duración del destello

$a$ : corresponde a 0,2 s para la observación nocturna en las condiciones de referencia mencionadas anteriormente. Corresponde a 0,1 s para la observación diurna.

#### 6.2.5.2 Método IV – El método modificado de Allard

Debido a las carencias implícitas a los otros tres métodos propuestos por IALA, CIE propuso un modelo de cálculo de intensidad eficaz mejorado según los siguientes criterios:

- La fórmula está de acuerdo con la de Blondel-Rey para los destellos rectangulares.
- La fórmula está de acuerdo con los datos publicados sobre grupos de destellos.
- No es posible engañar la fórmula de manera demostrable con formas complejas de destellos potenciales.
- La fórmula permite el uso de técnicas sencillas de medición.
- La fórmula está de acuerdo con los datos de observación visual publicados acerca de las formas de destello no rectangulares.

La ecuación original de Allard se encuentra modificada de acuerdo con la fórmula Blondel Rey para los destellos rectangulares, según recomendaba el trabajo realizado por Luizov y Bulanov presentado en 1960 en una conferencia internacional celebrada en Washington. El método de Allard modificado presenta una buena correlación en sus resultados con respecto al trabajo sobre grupos de destellos realizado por Mandler y Thacker en 1986.

Se ha recurrido a este método por su adecuación a cualquier forma de destello de cualquier duración. Las ventajas que presenta el *Método IV – Método modificado de Allard* son: la equivalencia a la ecuación de Blondel-Rey para destellos rectangulares, su adecuación para grupos de destellos, la falta de formas de destello que produzcan resultados anómalos y la posibilidad de realizarse mediante un circuito analógico de lectura única, sin necesidad grabación ni el cálculo de las formas de onda por ordenador.

El Método IV, determina la intensidad eficaz  $I_e$  por el valor máximo de la convolución  $i(t)$  ente la intensidad luminosa instantánea  $I(t)$  y la curva de respuesta visual de Allard modificada  $q(t)$ .

Por lo que, para un destello que empieza en  $t = 0$ , la intensidad eficaz  $I_e$  se obtiene de:

$$I_e = \max_{t_0 \leq t \leq t_1} \{i(t)\} \quad (7)$$

Donde:

$$i(t) = I(t) \otimes q(t) \quad (8)$$

que, para conjuntos de datos discretos, da lugar a la ecuación (9),

$$i(t_j) = \sum_{k=0}^N I(t_k) \cdot q(t_j - t_k) \quad (9)$$

en la que se muestrea  $I(t)$  en  $t_k$  a lo largo de toda la duración del destello.

La convolución es resultado del cálculo de la suma de los productos de las curvas  $I(t)$  (Figura 6.8), caracterizada por un destello rectangular de amplitud igual a  $I_0$  (22,435 cd) y un semiperiodo de 4 segundos y la curva  $q(t)$  modificada (Figura 6.9).

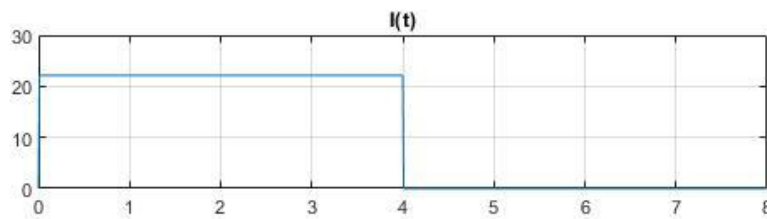


Figura 6.8 Señal  $I(t)$  de 22,435 cd de amplitud y 4 s de semiperiodo

La curva de respuesta visual modificada se obtiene de la ecuación ( 10 ) y se comprara con la original de Allard en la Figura 6.10.

$$q(t) = \frac{a}{(a + t)^2} \quad ( 10 )$$

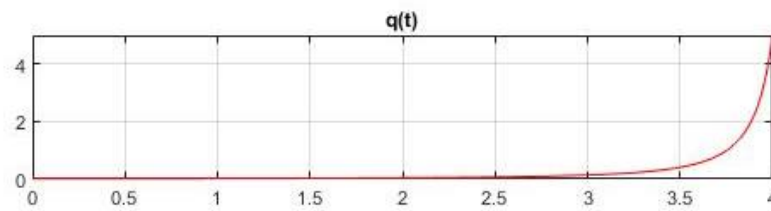


Figura 6.9 Curva q(t) modificada, inversa

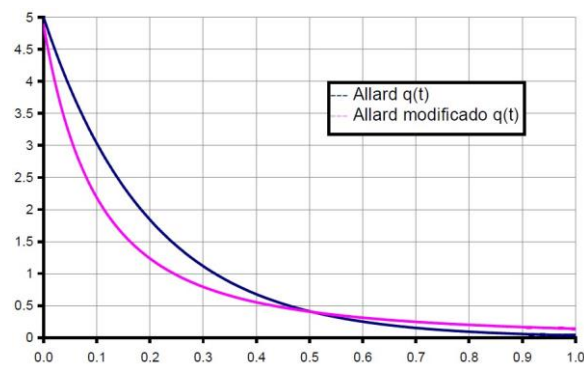


Figura 6.10 Perfil del destello con la convolución que resulta empleando el método modificado de Allard – IALA AISM

Finalmente, se muestra la convolución (Figura 6.11) y el valor de intensidad efectiva  $I_e$  obtenidos. La convolución se ha obtenido con el programa MATLAB, el código se muestra en Anexo 7.

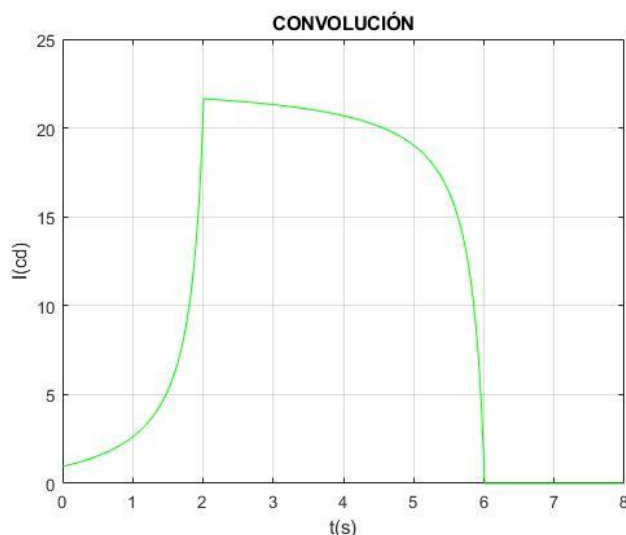


Figura 6.11 Convolución entre la intensidad luminosa instantánea y la curva de respuesta visual de Allard modificada

$$I_e = 21,642$$

## 6.2.6 Cálculo, definición y notación del alcance luminoso

El objeto de esta recomendación es permitir a los proveedores y a los fabricantes de luces determinar el alcance luminoso de dichas luces en función de su intensidad y la visibilidad meteorológica.

### 6.2.6.1 Factores importantes en el diseño de señales luminosas

Los que se detallan a continuación son factores que deben o ya se han tomado en cuenta a la hora de diseñar una señal luminosa.

- Factores de condición de servicio: como se indica en el apartado *Intensidad luminosa de fuentes luminosas*, se toma en cuenta la disminución de la intensidad luminosa por condiciones de servicio como resultado de la degradación de la fuente luminosa, la suciedad, el salitre, etc. Se recomienda que se tome el valor de 0,75 (correspondiente a una reducción de la intensidad del 25%). Pese a ello, IALA advierte que algunas fuentes luminosas, tales como lámparas de descarga y LEDs, pueden llegar a degradarse considerablemente más que el 25% durante el curso de su vida útil.
- Condiciones locales: la disposición geográfica de la señal luminosa condiciona el alcance luminoso. Se recomienda diseñar la señal considerando el alcance luminoso práctico y no el alcance nominal.
- Zona de utilización: el alcance necesario puede variar según la zona de utilización de la luz.
- Luminancia de fondo: los diferentes niveles de iluminancia de fondo podrían requerir diferentes valores de iluminancia.
- Evaluación de adecuación: cuando sea posible, se realizará una evaluación subjetiva de la señal luminosa para confirmar su adecuación dentro de su zona de cobertura.



---

### 6.2.6.2 Aspectos Físicos Básicos – La Ley de Allard

La iluminancia  $E$  de la señal luminosa se puede calcular mediante la ley física conocida como la ley de Allard y se calcula en función de la distancia  $d$ , la intensidad luminosa  $I$  y un factor exponencial  $z$ .

$$E(d) = I \cdot \frac{e^{-zd}}{d^2} \quad (11)$$

El factor exponencial  $z$  describe la absorción atmosférica y la dispersión.

### 6.2.6.3 La ley de Allard empleando la transmisividad atmosférica $T$

La propagación del flujo luminoso en la atmósfera supone pérdidas por transmisión. Estas pérdidas se consideran llevando a cabo un ratio, llamado transmisividad atmosférica  $T$ , entre el flujo luminoso transmitido en la atmósfera y este mismo en el vacío, para una unidad de distancia.

$$T = \frac{\phi(d_U)}{\phi_v(d_U)} \quad (12)$$

Se puede expresar la ecuación (12), debido a que el ratio de los flujos luminosos es igual al ratio de los valores correspondientes de iluminancia, de la siguiente forma:

$$T = \frac{E(d_U)}{E_v(d_U)} \quad (13)$$

Substituyendo las iluminancias  $E$  en la ecuación (13) por la ecuación (11) y considerando una  $E_v(d_U)z = 0$ , se obtiene:

$$T = e^{-zd_U} \quad (14)$$

Combinando las ecuaciones (11) y (14), con la milla náutica como unidad de distancia, la ecuación (15) toma la siguiente forma:

$$E(d) = I \cdot \frac{T_M^{d/d_U}}{d^2} \quad (15)$$

Multiplicando la distancia  $d$  por 1852, que es el factor de conversión de metro a milla náutica, se obtiene la expresión:

$$E(d) = \frac{I \cdot T_M^d}{3,43 \cdot 10^6 \cdot d^2} \quad (16)$$

Teniendo en cuenta que el factor debe estar al cuadrado, igual que la distancia.

#### 6.2.6.4 La visibilidad meteorológica

Las pérdidas por transmisión del flujo luminoso en el espacio también se pueden describir mediante este concepto. La visibilidad meteorológica es la mayor distancia desde la cual se puede percibir y reconocer de día un objeto negro de dimensiones adecuadas contra el cielo del horizonte o, en el caso de observaciones nocturnas, que se podría ver y reconocer si la iluminación general se aumentara a nivel diurno.

Por definición, la relación entre la visibilidad meteorológica  $V$  y la transmisividad es la siguiente:

$$V = \frac{\ln 0,05}{\ln T_M} \quad (17)$$

IALA recomienda la visibilidad meteorológica sobre la transmisividad  $T_M$  para el cálculo de pérdidas por transmisión. Combinadas las ecuaciones (16) y (17) se obtiene:

$$E(d) = \frac{I \cdot 0,05^{\frac{d}{V}}}{(3,43 \cdot 10^6) \cdot d^2} \quad (18)$$

#### 6.2.6.5 Alcance luminoso

El alcance luminoso  $D$  se define como la distancia máxima desde la cual la luz se puede percibir la luz de una fuente puntual y viene determinada por la ecuación (19), en la que depende de la intensidad luminosa  $I$  de la luz, la visibilidad meteorológica  $V$  y la iluminancia necesaria (iluminancia en el umbral) en el ojo del observador  $E_t$ .

$$I = (3,43 \cdot 10^6) \cdot E_t \cdot D^2 \cdot (0,05)^{-\frac{D}{V}} \quad (19)$$

Para el cálculo del alcance luminoso se ha recurrido a la Figura 6.12, en la que se muestra un diagrama del alcance luminoso nocturno. Este diagrama<sup>41</sup>, es la representación gráfica de la ecuación (19) para diferentes condiciones de visibilidad. A falta de una ubicación concreta para la determinación de visibilidad meteorológica, se ha obtenido un rango de alcances luminosos que van desde las 0,215 M hasta las 4,100 M, para una  $V = 0,1$  M y  $V = 20$  M respectivamente. En condiciones de perfecta visibilidad, el alcance luminoso de la señal es de 6,7 M. Los resultados se muestran en la Tabla 10.

<sup>41</sup> En la Figura 8.2 del Anexo 8, se muestra el diagrama de alcance luminoso nocturno usado para el cálculo.

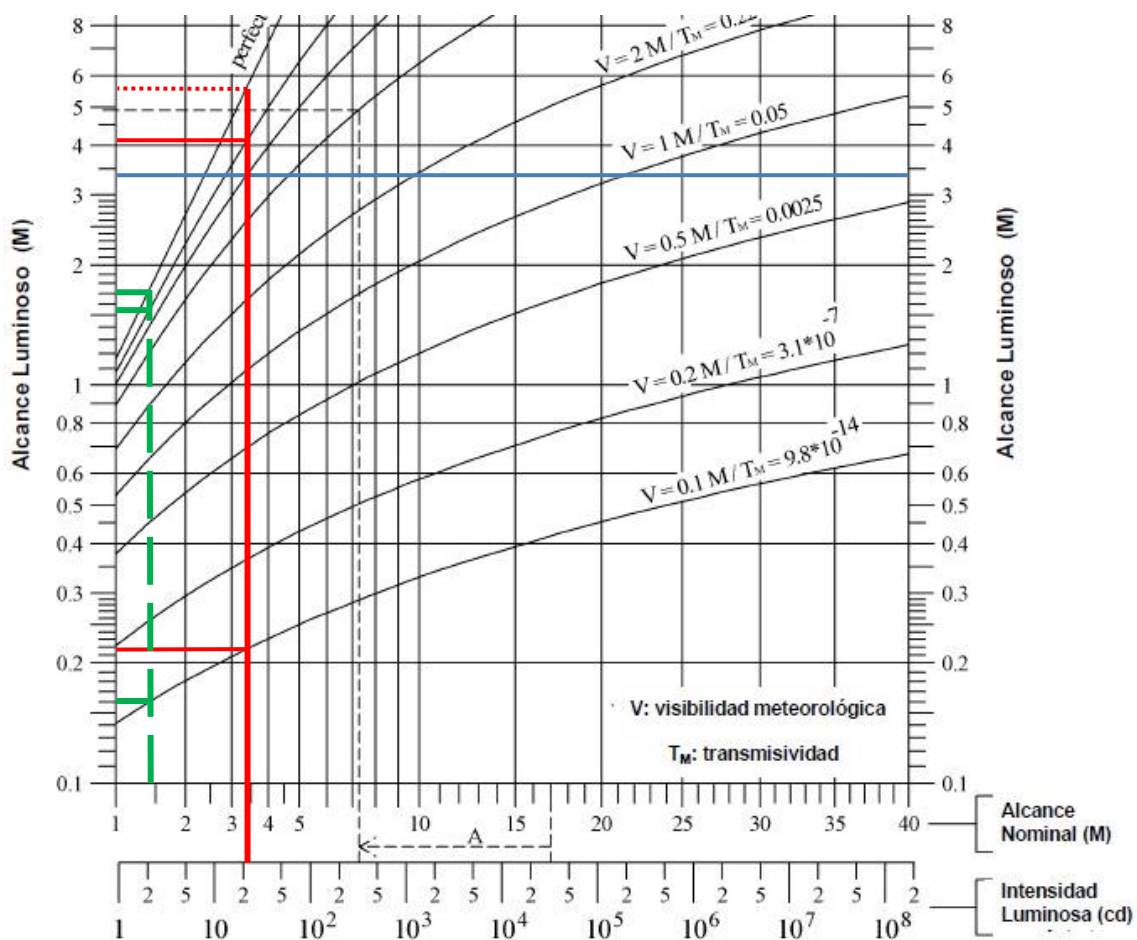


Figura 6.12 Cálculo de los alcances luminosos (rojo) y nominal (azul) nocturnos, mediante el diagrama de alcance luminoso nocturno. En verde y discontinuo se muestra el alcance luminoso nocturno para poca corrección de iluminación de fondo.

#### 6.2.6.6 Alcance nominal

IALA recomienda como definición: *el alcance nominal de una señal luminosa marítima es la distancia, en millas náuticas, desde la cual dicha señal luminosa produce una iluminancia en el ojo del observador.*

- de  $2 \times 10^{-7}$  lx para el alcance nocturno
- de  $1 \times 10^{-3}$  lx para el alcance diurno

Se asumirá que la visibilidad meteorológica  $V$  es igual a 10 millas náuticas ( $T_M = 0,7411$ ) y que la atmósfera es homogénea.

El alcance nominal de la señal puede verse representado en color azul en la Figura 6.12. Otra manera de obtener el alcance nominal es consultando la Figura 6.13. donde se determina el alcance nominal nocturno redondeando a la milla náutica más cercana.

Intensidad luminosa	Alcance nominal (redondeado)	Intensidad luminosa	Alcance nominal (redondeado)	Intensidad luminosa	Alcance nominal (redondeado)
candelas	millas náuticas (M)	kilocandelas ( $10^3$ cd)	millas náuticas (M)	megacandela ( $10^6$ cd)	millas náuticas (M)
1 - 2	1	0,633 – 1,06	9	0,927 – 1,35	26
3 - 9	2	1,07 – 1,75	10	1,36 – 1,96	27
10 - 23	3	1,76 – 2,84	11	1,97 – 2,84	28
24 - 53	4	2,85 – 4,53	12	2,85 – 4,11	29
54 - 107	5	4,54 – 7,13	13	4,12 – 5,93	30
108 - 203	6	7,14 – 11,1	14	5,94 – 8,53	31
204 - 364	7	11,2 – 17,1	15	8,54 – 12,2	32
365 - 632	8	17,2 – 26,1	16	12,3 – 17,5	33
		26,2 – 39,7	17	17,6 – 25,1	34
		39,8 – 59,9	18	25,2 – 35,9	35
		60,0 – 89,8	19	36,0 – 51,2	36
		89,9 - 133	20	51,3 – 72,9	37
		134 -198	21	73,0 - 103	38
		199 - 293	22	104 -147	39
		294 - 432	23	148 - 209	40
		433 - 634	24		
		635 - 926	25		

Figura 6.13 Cuadro de alcances nominales nocturnos – IALA AISM

#### 6.2.6.7 Compensación de la iluminación de fondo (noche)

El fondo sobre el que se percibe la señal, puede contener cierta iluminación. En la mayoría de casos, las luces que contiene el fondo reducen el alcance luminoso y IALA recomienda un método para considerar este fenómeno. Se usan dos valores:

- Poca iluminación de fondo:  $2 \cdot 10^{-6}$  factor 10 x
- Considerable iluminación de fondo:  $2 \cdot 10^{-5}$  factor 100 x

En la Figura 8.2 del Anexo 8, se puede observar una escala auxiliar. Midiendo la distancia A y trasladando esta distancia al eje de las abscisas desde la línea de graduación correspondiente al alcance nominal para una intensidad luminosa dada, se obtiene el punto desde el que medir el alcance nominal.

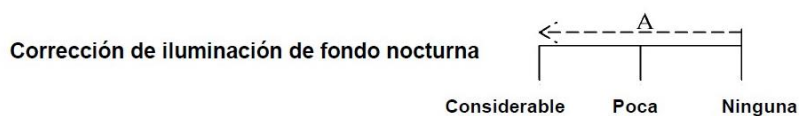


Figura 6.14 Escala auxiliar para la compensación de la iluminación de fondo – IALA AISM

---

#### 6.2.6.8 Alcance luminoso diurno

La iluminancia necesaria  $E_t$  producida por la luz, depende de la luminancia  $L$  del cielo en candelas por metro cuadrado, en el sentido de la observación, de acuerdo a la ecuación ( 20 ).

$$E_t = (0,242 \cdot 10^{-6}) \cdot (1 + \sqrt{0,4L})^2 \quad (20)$$

Donde:

$E_t$ : es la iluminancia necesaria en el ojo del observador en lx

$L$ : es la luminancia del cielo (fondo) en  $\text{cd/m}^2$

Substituyendo este valor de luminancia en la ecuación ( 19 ), se obtiene:

$$I = 3430 \cdot D^2 (0,05)^{-\frac{D}{V}} \quad (21)$$

Los valores de luminancia de fondo  $L$  y luminancia necesaria  $E_t$  se encuentran representados en la Tabla 25 del Anexo 8.

Finalmente, se obtiene el diagrama del alcance luminoso para condiciones diurnas (Figura 6.15).

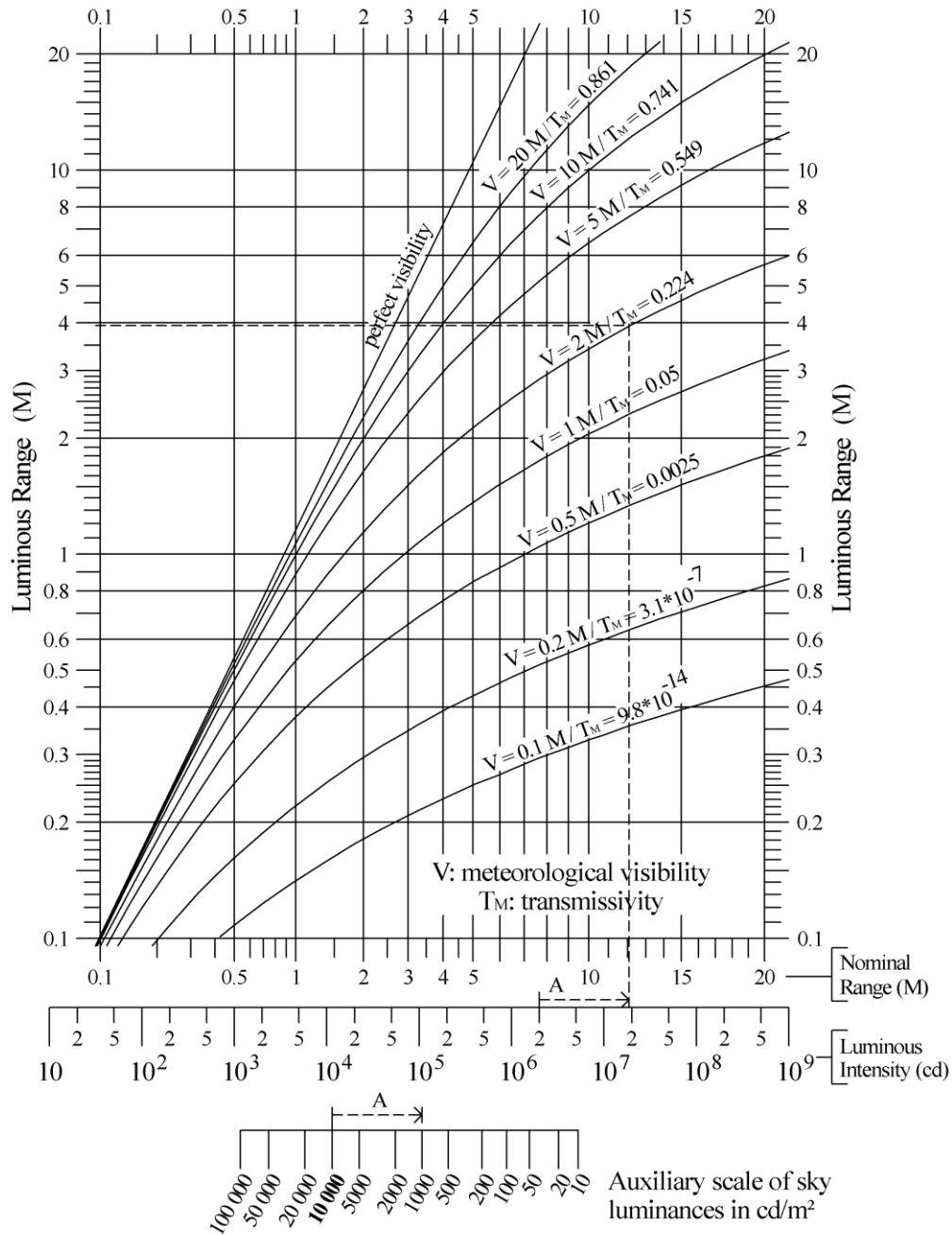


Figura 6.15 Diagrama del alcance luminoso diurno – IALA AISM

El alcance luminoso diurno, para 22,435 cd, es de cero millas náuticas para cualquier valor de luminancia de fondo.

### 6.2.6.9 Alcance nominal diurno

Intensidad luminosa	Alcance nominal (redondeado)	Intensidad luminosa	Alcance nominal (redondeado)
kilocandelas ( $10^3$ cd)	millas náuticas (M)	Megacandelas ( $10^6$ cd)	millas náuticas (M)
1 – 12,0	1	1,02 – 1,82	7
12,1 – 45,3	2	1,83 – 3,16	8
45,4 – 119	3	3,17 – 5,32	9
120 – 267	4	5,33 – 8,78	10
268 – 538	5	8,79 – 14,2	11
539 – 1010	6	14,3 – 22,6	12
		22,7 – 35,6	13
		35,7 – 55,5	14
		55,6 – 85,6	15
		85,7 – 130	16
		131 – 198	17
		199 – 299	18
		300 – 449	19
		450 – 669	20
		670 – 993	21
		994 – 1460	22

Figura 6.16 Cuadro de alcances nominales diurnos – IALA AISM

### 6.2.6.10 Resultados

En la Tabla 10 Alcance luminoso nocturno de PEL comercializada, se muestra los valores, en millas náuticas, de los diferentes alcances luminosos obtenidos para una intensidad de 22,435 cd. Se puede observar que la señal pierde toda su efectividad en condiciones de considerable luminosidad de fondo y en condiciones diurnas.

	Alcance luminoso nocturno (M)									Alcance luminoso diurno (M)
	Ninguna corrección			Poca corrección			Corrección considerable			
le	Min	Max	Perfecta visibilidad	Min	Max	Perfecta visibilidad	Min	Max	Perfecta visibilidad	
22,435	0,215	4,200	5,800	0,160	1,520	1,750	0	0	0	0

Tabla 10 Alcance luminoso nocturno de PEL comercializada

## 6.3 Resultados

En primer lugar, se ha registrado los valores de alcance luminoso nocturno y alcance nominal nocturno y diurno de:

- PEL comercializada
- PEL en desarrollo
  - Balsa salvavidas
  - Casco
  - Mástil
- Bengalas de mano

La aplicación de la PEL en las superficies de balsa salvavidas, casco y mástil, se ha llevado a cabo con PEL en desarrollo. Se ha tomado esta decisión tras observar la disparidad entre los valores de intensidad luminosa entre PEL comercializada y bengalas de mano. La aplicación se ha llevado a cabo repitiendo los cálculos vistos en *IALA serie de recomendaciones E-200. Señales Luminosas Marítimas*.

Tras la determinación del alcance nominal diurno, se ha observado que el cálculo del alcance luminoso diurno no procede. Durante el día y a niveles de intensidad luminosa estudiados, una marca visual de socorro será de mayor interés, para un observador, que una señal luminosa.

Se ha considera oportuno informar del rango nominal para su utilización en cartas náuticas y fichas técnicas, a pesar de que el rango luminoso aporta mayor información.

Para la bengala de mano no se han considerado las pérdidas de reflexión y transmisión en sistemas de plástico. Tampoco la reducción debida al efecto de acristalamiento de la linterna. Se ha considerado la bengala como luz fija, por lo que el valor de intensidad efectiva  $I_e$  equivale al de la intensidad mínima de 15000 cd reclamada en la Resolución MSC 81(70) de la OMI.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 11. En el Anexo 8, se puede observar los diagramas usados para la obtención de los alcances luminosos nocturnos dispuestos en Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13.

A continuación, se ha registrado los valores de rango visual de la señal. El rango visual de la señal determina la distancia máxima a la que el observador puede detectar y resolver la señal y, como se adelantaba al principio del capítulo, está limitado por el rango geográfico y el alcance luminoso.

Para la obtención de la Tabla 12, se ha considerado una altura de observador de 2,5 metros y se han limitado a 5,696 M los valores de alcance luminoso nocturno superiores a esta distancia, para aplicaciones pertenecientes al caso 1. Para las aplicaciones del caso 2, el valor límite asciende a 12,319 M. La Tabla 13 se obtiene para una altura de observador de 300 metros y tiene limitados rangos de alcance luminoso nocturno a 37,647 M y 44,27 M para los casos 1 y 2, respectivamente. Se ha señalado en color azul las casillas con los valores de rango visual limitados por el rango geográfico.



			I <sub>e</sub> (cd)	Alcance nominal nocturno (M)	Alcance luminoso nocturno corregido (M)								Alcance nominal diurno (M)	
					Ninguna corrección			Poca corrección			Corrección considerable			
					Min	Max	Perfecta visibilidad	Min	Max	Perfecta visibilidad	Min	Max		Perfecta visibilidad
PEL comercializada			22,435	3	0,215	4,200	5,800	0,160	1,520	1,750	0,000	0,000	0,000	0
PEL en desarrollo	Máxima superficie actual		90,877	5	0,255	6,900	11,200	0,195	2,950	3,650	0,140	1,090	1,180	0
	Balsa salvavidas	Alzado	759,106	9	0,310	12,500	31,000	0,250	6,400	10,300	0,190	2,700	3,250	0
		Perfil	1798,000	11	0,340	15,800	>50	0,270	8,250	15,000	0,215	3,900	5,250	1
	Casco	Alzado	2879,400	12	0,350	16,500	>50	0,280	9,300	18,500	0,220	4,400	6,250	1
		Perfil	8793,800	14	0,380	21,750	>50	0,320	13,000	34,500	0,255	7,000	11,500	1
	Mástil	Alzado	90,486	5	0,255	6,900	11,500	0,190	2,700	3,300	0,140	1,090	1,180	0
		Perfil	134,018	6	0,270	8,000	14,250	0,210	3,700	4,800	0,153	1,375	1,500	0
	Bengala de mano			15000,000	15	0,400	24,800	>50	0,330	15,400	50,000	0,270	8,400	15,400

Tabla 11 Alcance luminoso nocturno y alcance nominal nocturno y diurno para diferentes aplicaciones de PEL

				Rango visual h <sub>2,5</sub> (M)											
				Ninguna corrección			Poca corrección			Corrección considerable					
				Mín	Máx	Perfecta visibilidad	Mín	Máx	Perfecta visibilidad	Mín	Máx	Perfecta visibilidad			
				I <sub>e</sub> (cd)	Rango geográfico (M)										
Bengala de mano				15000,000	5,696		0,400	5,696	5,696	0,330	5,696	5,696	0,270	5,696	5,696
PEL en desarrollo	Máxima superficie actual			90,877			0,255	5,696	5,696	0,195	2,950	3,650	0,140	1,090	1,180
	Balsa salvavidas		Alzado	759,106			0,310	5,696	5,696	0,250	5,696	5,696	0,190	2,700	3,250
			Perfil	1798,000			0,340	5,696	5,696	0,270	5,696	5,696	0,215	3,900	5,250
	Casco		Alzado	2879,400			0,350	5,696	5,696	0,280	5,696	5,696	0,220	4,400	5,696
			Perfil	8793,800			0,380	5,696	5,696	0,320	5,696	5,696	0,255	5,696	5,696
	Máxima superficie actual			90,877	12,319		0,255	6,900	11,200	0,195	2,950	3,650	0,140	1,090	1,180
	Mástil		Alzado	90,486			0,255	6,900	11,500	0,190	2,700	3,300	0,140	1,090	1,180
			Perfil	134,018			0,270	8,000	12,319	0,210	3,700	4,800	0,153	1,375	1,500

Tabla 12 Rango visual de la señal luminosa para un observador a 2,5 metros de altura

				Rango visual de la señal h <sub>300</sub> (M)									
				Ninguna corrección			Poca corrección			Corrección considerable			
				Mín	Máx	Perfecta visibilidad	Mín	Máx	Perfecta visibilidad	Mín	Máx	Perfecta visibilidad	
			I <sub>e</sub> (cd)	Rango geográfico (M)									
Bengala de mano			15000,000	37,647	0,400	24,800	37,647	0,330	15,400	37,647	0,270	8,400	15,400
PEL en desarrollo	Máxima superficie actual		90,877		0,255	6,900	11,200	0,195	2,950	3,650	0,140	1,090	1,180
	Balsa salvavidas	Alzado	759,106		0,310	12,500	31,000	0,250	6,400	10,300	0,190	2,700	3,250
		Perfil	1798,000		0,340	15,800	37,647	0,270	8,250	15,000	0,215	3,900	5,250
	Casco	Alzado	2879,400		0,350	16,500	37,647	0,280	9,300	18,500	0,220	4,400	6,250
		Perfil	8793,800		0,380	21,750	37,647	0,320	13,000	34,500	0,255	7,000	11,500
	Máxima superficie actual		90,877	44,27	0,255	6,900	11,200	0,195	2,950	3,650	0,140	1,090	1,180
	Mástil	Alzado	90,486		0,255	6,900	11,500	0,190	2,700	3,300	0,140	1,090	1,180
		Perfil	134,018		0,270	8,000	14,250	0,210	3,700	4,800	0,153	1,375	1,500

Tabla 13 Rango visual de la señal luminosa para un observador a 300 metros de altura



## CAPÍTULO 7. PESO Y COSTES

Se ha estudiado el peso y el coste del sistema PEL aplicando una superficie pintada de 0,1858 m<sup>2</sup> a tope de palo, por ser la más acorde a las limitaciones actuales de la pintura estudiada. También se ha tenido en cuenta la ventaja que muestra, frente las otras aplicaciones y bengalas de mano, en ser observada a poca altura. Por otro lado, se aportan valores relevantes de peso y coste para otras aplicaciones y para bengalas de mano.

Debe insistirse en que el sistema esta dimensionado para no exceder los 0,1858 m<sup>2</sup>. Para obtener valores de peso y coste más representativos, para las superficies que excedan dicho valor, debería llevarse a cabo de nuevo el dimensionamiento de los elementos del sistema.

### 7.1 Peso del sistema PEL

En la Tabla 14 se muestra la suma de pesos de los elementos que integran el sistema PEL.

Elemento		Cantidad	Peso unitario	Peso (kg)	Peso (%)
Batería		1 ud.	5,500 kg	5,500	36,025
Inversor		1 ud.	0,365 kg	0,365	2,391
Conductores	c.c.	0,600 m	0,012 kg/m	0,007	0,046
	c.a.	27 m	0,346 kg/m	9,342	61,191
RCD		1 ud.	0,030 kg	0,030	0,197
PEL		22,3 · 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	1012,893 kg/m <sup>3</sup>	0,023	0,151
Peso sistema PEL				<b>15,267</b>	<b>100</b>

Tabla 14 Pesos del sistema PEL

El valor de cantidad de la PEL se obtiene del producto del área pintada por el espesor de la capa de pintura (0,12 mm). El peso unitario de la PEL se ha obtenido a partir del valor de densidad de sus capas.

El peso de los conductores de c.a. supone más del 60% del peso total del sistema para esta aplicación, que requiere conductores c.a. de gran longitud. También es notable el peso de la batería, dimensionada para 6 h de servicio, que representa el 36% del peso total, siendo uno de los elementos más pesados. Muy por debajo, se encuentra el inversor de 365 gramos. Los elementos más livianos del sistema son el RCD, los conductores c.c. y la pintura electroluminiscente, que muestra gran ligereza por su delgado espesor.

El peso de la pintura es de 23 g, deviniendo prácticamente negligible. Se considera que la carga de los conductores c.a. queda repartida a lo largo del mástil y parte del casco, sujetándose cada 300 mm como

especifica la Norma ISO 13297: 2019. Se ha optado por ubicar la batería, el inversor, los conductores c.c. y el RCD en un compartimento a popa del casco.

Por otro lado, se ha buscado el peso máximo individual de la pintura. Esta condición se obtiene para la aplicación en el casco de la embarcación, constituyendo una superficie pintada de 47,732 m<sup>2</sup> y su peso asciende a 5,802 kg. Se aprecia que, solo en esta aplicación, el peso de la pintura supera el de la batería. Reduciendo a 2 metros la longitud del conductor c.a., por la cercanía de la batería a la superficie pintada, el peso total del sistema es de 12,396 kg.

La aplicación del sistema en una balsa salvavidas supone una carga de 7,865 kg, deviniendo la configuración más ligera de las estudiadas. El francobordo y el toldo de la balsa deben soportar 1,271 kg que pertenecen a la PEL. El peso del sistema PEL supone menos de un 0,7% de la carga total admisible por una balsa salvavidas de 12 personas de capacidad. En balsas salvavidas de 4 personas supondría el 1,33% de la carga total admisible.

El peso de una bengala de mano es de 175 g. Se ha obtenido un peso total de 1,050 kg, correspondiente a la suma de cargas que generan 6 bengalas, obligatorias en una balsa salvavidas del Grupo A y embarcaciones con las zonas de navegación 1, 2, 3 y 4 asignadas.

## 7.2 Costes del sistema PEL

Se ha calculado el coste de los materiales de un sistema PEL para una superficie pintada de 0,1858 mm<sup>2</sup> a tope de palo.

El valor de cantidad de la PEL se obtiene del producto del área pintada, por el espesor de cada capa de pintura (0,12 mm entre el número de capas). Se han considerado negligibles los costes de la imprimación con propiedad aislante eléctrica. Se ha estudiado la aplicación de *Caswell Copper* como plano posterior y barra bus. Para el dieléctrico se ha obtenido el coste de BaTiO<sub>3</sub> en polvo, considerando negligible el coste de la solución de hidróxido de amonio. El fósforo aplicado es *LUMICOLOR*, producto de *Darksides Scientific, LLC*. El coste del electrodo superior se ha obtenido para *CLEVIOS™*. El coste del encapsulamiento se ha determinado a partir del coste de un *top coat* transparente de aplicación naval.

El coste de los materiales del sistema PEL asciende a los 582,32 euros, de los que solo el 3,736 % (21,76 euros) van destinados a la pintura. El elemento más costoso es la batería, seguido por los conductores de corriente alterna. También es notable el coste del inversor y del RCD, en menor proporción.

Elemento		Cantidad	Coste unitario	Coste (€)	Coste (%)
Batería		1 ud.	381,84 €	381,84	65,573
Inversor		1 ud.	15,00 €	15,00	2,576
Conductores	c.c.	0,600 m	0,35 €/m	0,21	0,036
	c.a.	27 m	5,43 €/m	146,61	25,177
Fusible		1 ud.	3,00 €	3,00	0,515
Conexiones		9 uds.	0,10 €	0,90	0,155
RCD		1 ud.	13,00 €	13,00	2,232
PEL	Pl. posterior y barra bus	$4,459 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$	1034000 €/m <sup>3</sup>	4,61	0,792
	Dieléctrico	$4,459 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$	959400 €/m <sup>3</sup>	4,28	0,735
	Fósforo	$4,459 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$	1945000 €/m <sup>3</sup>	8,67	1,489
	Electrodo superior	$4,459 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$	876000 €/m <sup>3</sup>	3,91	0,671
	Encapsulamiento	$4,459 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$	64764 €/m <sup>3</sup>	0,29	0,050
Coste PEL				<b>21,76</b>	<b>3,736</b>
Coste sistema PEL				<b>582,32</b>	<b>100</b>

Tabla 15 Costes de los materiales del sistema

Al aplicar el sistema en el casco de la embarcación estudiada, se obtiene el coste máximo de pintura. El precio de la pintura asciende a los 4657,84 euros, contribuyendo a un coste total del sistema de 5082,66 euros. Para la balsa salvavidas, el coste de la pintura es de 1020,33 euros y supone un coste total del sistema de 1445,14 euros.

El coste de una bengala de mano es de 6,5 euros. En balsas salvavidas del Grupo A y embarcaciones de recreo diseñadas para navegar en las zonas 1, 2, 3 y 4, el coste destinado a esta pirotecnia debe ser de 39 euros.





---

## CAPÍTULO 8. RESULTADO: COMPARATIVA CON BENGALAS DE MANO

### 8.1 Duración del servicio

Una de las ventajas principales de la PEL, frente las bengalas de mano, es la duración del servicio. Las bengalas de mano cuentan con un tiempo de combustión de un minuto. Como se ha visto en *Dimensionamiento de la batería*, la autonomía del sistema PEL diseñado es de seis horas.

### 8.2 Riesgos de uso

Como se mencionaba en antecedentes, el uso de bengalas de mano conlleva riesgos de lesiones y quemaduras, en situaciones de emergencia el riesgo aumenta. Se ha observado que el sistema PEL conlleva riesgos por sobreintensidad y fallo de puesta a masa que se pueden disminuir con dispositivos de protección. Ambos tienen asociados riesgos por inflamación, el encendido de la bengala de mano debe hacerse al aire libre y a sotavento, lejos de elementos inflamables. La PEL supone un riesgo de inflamación, únicamente, durante su producción. Para que los elementos del sistema PEL no supongan un peligro, debe evitarse la instalación en cámaras que contengan gases inflamables y la cercanía a elementos del escape o dar protección adicional.

### 8.3 Producción

La producción de bengalas es independiente de la construcción del elemento contenedor. La instalación sistema PEL exige ser parte del proceso constructivo del elemento contenedor, ya sea antes del plegado de una balsa salvavidas, el laminado del casco o construcción de un mástil.

### 8.4 Destello característico

Se puede programar un destello característico en un sistema de PEL mientras que, para la bengala de mano, no es posible.

### 8.5 Rango geográfico

El uso de la bengala de mano se lleva a cabo a baja altura, mientras que la PEL aplicada en el mástil tiene una altura de señal considerable. En situaciones en las que la altura de la pintura es igual o inferior a la bengala de mano, se pierde esta ventaja y disminuye considerablemente el rango geográfico para observadores a poca altura.

## 8.6 Rendimiento

La intensidad luminosa de las bengalas de mano es muy superior a la proporcionada por la PEL en cualquier superficie estudiada, tampoco cuenta con pérdidas por reflexión y transmisión en la matriz de encapsulamiento o acristalamiento en dicho elemento. El elevado rendimiento de las bengalas de mano, se encuentra limitado por el rango geográfico en mayor medida que el de la PEL, pero proporciona mayor rango visual en la mayoría de casos.

## 8.7 Rango visual

En la comparativa del rango visual, se han contrastado los rangos visuales máximos de bengalas de mano y PEL para sus aplicaciones. También los rangos visuales obtenidos en condiciones diáfanas de visibilidad para las tres correcciones de iluminación de fondo. A rasgos generales, las bengalas de mano proporcionan mejor rango visual que la PEL pese a que, sufren una disminución más acusada en función a la visibilidad meteorológica y la corrección de iluminación de fondo nocturna.

Los valores mínimos de rango visual no están limitados por el rango geográfico. En condiciones de neblina, dependen únicamente del rendimiento del dispositivo. Para estos valores de visibilidad, las bengalas de mano aportan rangos visuales que van desde las 0,27 M hasta las 0,4 M, en relación a la corrección de iluminación. La PEL aplicada en la balsa salvavidas, proporciona rangos visuales de 0,19 M hasta 0,34 M. Aplicada en el casco de la embarcación, de 0,22 M a 0,38 M. En el mástil, los rangos visuales para poca visibilidad, van de las 0,14 M hasta las 0,27 M.

### 8.7.1 Observador a 2,5 metros de altura

El rango visual de las bengalas de mano llega a 5,696 M en condiciones diáfanas y excepcionalmente diáfanas, para cualquier corrección de iluminación.

Se observa que la PEL obtiene resultados equiparables para su aplicación en el casco de la embarcación, con un rango visual de 5,696 M en condiciones diáfanas y excepcionalmente diáfanas, para ninguna y poca corrección. Para condiciones diáfanas de visibilidad y correcciones considerables, el alcance luminoso excede el rango geográfico cuando el casco es visto de perfil. Visto en alzado, alcanza las 4,4 M para visibilidad diáfana e iguala, únicamente en situaciones excepcionalmente diáfanas, el valor del rango geográfico.

La aplicación de PEL en balsas salvavidas aporta rangos visuales de 5,696 M para condiciones diáfanas y excepcionalmente diáfanas y poca o ninguna corrección de iluminación. En correcciones considerables que el rango visual va de las 2,7 M hasta las 5,25 M en función de la visibilidad y la vista desde la que se observe.

---

Finalmente, se aprecia que el rango visual máximo pertenece a la aplicación en el mástil de PEL, alcanzando las 12,319 M en condiciones diáfanas sin corrección de luz de fondo. Este valor duplica el obtenido por bengalas de mano debido a la altura de la señal.

### 8.7.2 Observador a 300 metros de altura

El rango visual de las bengalas de mano, limitado por el rango geográfico, llega a 37,647 M en condiciones excepcionalmente diáfanas sin corrección y con poca corrección de iluminación de fondo. Con corrección considerable, es de 15,4 M. En condiciones diáfanas, el rango visual se encuentra entre las 8,4 M y las 24,8 M, en función de la corrección de iluminación de fondo.

La PEL ofrece los mejores resultados para su aplicación en casco. Esta ofrece un rango visual de hasta 37,647 M, tanto visto en alzado como de perfil, igualando el rango visual máximo de la bengala de mano. En condiciones excepcionalmente diáfanas, para poca y considerable corrección, aporta rangos visuales que van de 6,25 M hasta 34,5 M. En condiciones diáfanas, ofrece rangos visuales que van de las 4,4 M hasta las 21,75 M.

El rango visual máximo de la balsa salvavidas también es de 37,647 M para su vista de perfil. En su vista de alzado proporciona un rango visual máximo de 31 M. De igual manera, bajo condiciones de excepcional visibilidad, se generan rangos visuales de 3,25 M hasta 15 M al aplicar corrección de iluminación según la vista. En condiciones diáfanas, el alcance del rango visual de un casco pintado con PEL va desde 2,7 M, para corrección considerable de iluminación de fondo, hasta 15,8 M sin corrección.

En esta ocasión, y para concluir, el rango visual máximo de una aplicación de la PEL en el mástil, es el menor de todos los estudiados. El mástil consigue un rango visual máximo de 14,250 M, poco más que para un observador a 2,5 metros de altura. Lo hace, evidentemente, para condiciones excepcionalmente diáfanas y sin corrección. Visto en alzado, el valor de rango visual es algo más comedido, es detectable a 11,5 M. Siguiendo con valores de perfecta visibilidad, para poca y considerable corrección en iluminación de fondo, los rangos visuales obtenidos van desde las 1,18 M hasta las 4,8 M. En condiciones diáfanas, los rangos visuales están comprendidos entre las 1,09 M y 8 M.

## 8.8 Peso

El peso del sistema PEL es 14,54 veces el peso de seis bengalas de mano. Pese a esto, no supone una carga excesiva, aunque deba considerarse en el estudio de flotabilidad y estabilidad del elemento contenedor, sobre todo para su aplicación en mástil.

El sistema PEL ofrece cierto grado de flexibilidad, en lo que al reparto de cargas se refiere. Los conductores pueden alargarse o acortarse y la batería y el inversor pueden ubicarse en la configuración más adecuada según las necesidades.

Para su aplicación en balsas salvavidas, el peso de la capa de pintura es bajo y eso resulta una ventaja, teniendo en cuenta que estas deben resistir la carga en su todo sin sufrir deformaciones excesivas. Por otro lado, el peso de la batería cobra especial relevancia en el peso total del sistema.

Se ha considerado que el tiempo de combustión de la bengala de mano es de 60 s y constituye el 0,278 % de la duración del servicio del sistema PEL. Cubrir la misma duración del servicio, requiere de 360 bengalas que equivalen, en conjunto, a un peso de 63 kg. Se puede determinar que el peso de las bengalas equivalentes, según el tiempo de servicio, es sustancialmente más elevado.

## 8.9 Coste

Se debe tener en cuenta que las capas de la pintura se venden en envases de 4 u 8 oz por lo que, si bien la cantidad usada es muy reducida, la compra de estos productos requiere un desembolso notable. El coste obtenido puede sufrir variaciones importantes con el tiempo, en función de la inflación y la conversión de dólares americanos a euros. Por otro lado, no se ha considerado el coste de pérdidas de pintura durante el pintado.

El coste de los materiales para aplicar el sistema PEL en una balsa salvavidas excede, en la mayoría de ocasiones, el de la propia balsa. Se puede encontrar balsas salvavidas por 1.000 o 1.500 euros por lo que la instalación de esta tecnología duplicaría, como mínimo, el precio de una balsa salvavidas. Se considera que, un aumento tan drástico en el precio, puede fomentar que no se compre este elemento de seguridad.

En embarcaciones como la estudiada, cuyo rango de precios se encuentra entre los 200.000 y los 300.000 euros, el sistema PEL aplicado en el casco se considera un coste asumible pese a constituir un sobrecoste importante. Para la aplicación en el mástil, suponiendo un importe de no más de 600 euros, se considera que el coste es moderado.

El coste de los materiales del sistema PEL excede significativamente el de 6 bengalas. El coste unitario de las capas de pintura es muy elevado, por lo que el valor de la pendiente de la recta coste por superficie pintada €/m<sup>3</sup> es alto.

Como se ha visto para el peso, cubrir la duración del servicio de PEL requiere 360 bengalas. Esto supone un coste de 2.340 euros, superior al de aplicar el sistema PEL en balsa salvavidas y mástil, pero inferior al de una aplicación en casco.

---

## CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES

Se ha dimensionado el sistema eléctrico para la instalación de la pintura electroluminiscente en embarcaciones de recreo y balsas salvavidas. Para casco y balsa salvavidas, se ha excedido notablemente la superficie máxima de pintado sin dimensionar el sistema en consecuencia. Esto es debido a la falta de especificaciones, como el valor de capacitancia o el flujo luminoso, para determinar con exactitud el consumo. Con tales datos, se podría incidir con mayor detalle en la elección del inversor y obtener valores de eficacia luminosa, así como estudiar la dependencia del destello característico en la autonomía. En el presente estudio, se ha diseñado el destello característico tomando como referencia el de una señal de peligro aislado.

Se ha estudiado la composición y mecanismo de funcionamiento de la pintura electroluminiscente, así como su compatibilidad con los sustratos, peligros de su manipulación e impacto medioambiental. Se podría ampliar esta información mediante ensayos fotométricos y colorimétricos para redactar una ficha técnica con: potencia, flujo luminoso, ángulo de apertura, temperatura de color, CRI, tensión nominal, etiqueta energética, etc. También convendría estudiar la flexibilidad de la pintura, considerándose inconsistente el valor de 90 grados de flexión y proponiendo cuantificarla según el radio de curvatura. Otra vía de estudio posible, es el cálculo de elasticidad admisible por la pintura. Se puede profundizar en el estudio de la estabilidad y reactividad de la PEL expuesta al agua del mar. Pese a no observar elementos especialmente dañinos para el medio ambiente, sería conveniente la persistencia y degradabilidad de la pintura.

Se ha determinado el alcance luminoso para intensidades calculadas con un nivel de precisión que probablemente no supere el  $\pm 20\%$ . Como se advertía anteriormente, convendría hacer ensayos fotométricos y colorimétricos de la pintura para aumentar la precisión de los cálculos. Se ha calculado el rango visual de varias aplicaciones de pintura electroluminiscente y se ha comparado con el de las bengalas de mano. Tras obtener el rango geográfico para dos alturas de señal y dos alturas de observador, cabe destacar las limitaciones que tiene la bengala de mano para ser detectada por un observador a 2,5 metros y 300 metros de altura, pese a su elevado rendimiento, debidas al rango geográfico. Para observadores a mayor altura, el rango visual es equivalente al alcance luminoso y las bengalas de mano proporcionan mejores resultados en cualquier condición. También se ha observado que la altura de la señal contribuye muy favorablemente en la aplicación de PEL en el mástil de una embarcación de recreo.

Inicialmente, se propuso estudiar el rendimiento para cada curva de visibilidad, nueve niveles de visibilidad, esto produce doscientos cuarenta y tres resultados. Finalmente, se optó por comparar los valores máximos (diáfano y excepcionalmente diáfano) y mínimos (neblina) considerando que aportan información necesaria para obtener conclusiones fiables. Se ha obtenido el rendimiento de nueve valores de intensidad para tres condiciones de corrección de iluminación de fondo y tres niveles de visibilidad, generando una tabla de ochenta y un valores de alcance luminoso nocturno.

Se ha estudiado los elementos contenedores y sustratos del sistema de pintura electroluminiscente. Se ha apreciado que la ligereza y flexibilidad de la PEL son características ventajosas en su aplicación en balsas salvavidas pero que, debido a su coste y la falta de una placa externa de masa/tierra y de masa, no se considera apropiada la aplicación. Para su aplicación en el casco de la embarcación, sería especialmente interesante ensayar la resistencia a golpes y rallones de la pintura y sus periodos de mantenimiento y revisión. El coste de la aplicación de PEL en un casco es elevado, pero no excesivo, teniendo en cuenta el precio de una embarcación de características similares a las estudiadas.

Se ha obtenido resultados satisfactorios para la aplicación de PEL en el Mástil. Este sustrato ofrece una topología compleja a una altura considerable y permite el paso de conductores en su interior. Ofrece una superficie limitada que, actualmente, no supone un inconveniente para la PEL comercializada.

Se propone usar el *top coat* como matriz de encapsulamiento y estudiar la inserción de pintura electroluminiscente en el interlaminado de materiales compuestos. Para este caso, se propone estudiar la implementación del pintado con PEL en el proceso de producción de cascos y mástiles.

Se ha calculado el peso del sistema PEL y se ha comparado con el de las bengalas de mano. El peso del sistema PEL es notable y debería estudiarse como repercutiría en la flotabilidad y estabilidad del contenedor. Considerando las horas de servicio, el sistema PEL es ligero en comparación con la bengala de mano, pero faltaría comparar el peso de un sistema PEL que aporte intensidades eficaces cercanas a las de la bengala para comparar sus pesos. Se ha calculado el coste del sistema PEL y se ha comparado con el de las bengalas de mano. El desglose de costes del sistema PEL se ha limitado a los materiales; no incluye mano de obra, máquinas y herramientas, servicio de luz, certificación, etc. Situar el inversor lo más cerca posible de la PEL reduciría peso, costes y mejoraría la seguridad de la instalación a costa de mayor pérdida energética en conductores.

No se considera viable la sustitución de las bengalas de mano por PEL. Pese a observar el potencial de la pintura, el rendimiento actual de esta tecnología es muy inferior al requerido. Aun así, se considera viable complementar la pirotecnia con PEL aplicada en el mástil.

La aplicación de PEL en espigones, plataformas o construcciones y estructuras marítimas sería de gran interés, pese al coste unitario de la pintura y su limitada superficie máxima actual. Estas pueden devenir peligros a la navegación y aportar sustratos de gran superficie. En el caso de plataformas de energías renovables, convendría estudiar la alimentación del sistema con la energía extraída de recursos naturales.

La mayor ventaja de la PEL frente a la bengala de mano es la duración del servicio. Aun así, se considera elevada la carga que constituye la batería en proporción al peso total por lo que conviene estar pendiente de avances en baterías que mejoren la relación capacidad-peso.

Se conoce que se está desarrollando técnicas para mejorar el rendimiento y eficiencia de la PEL y sería interesante reconsiderar la viabilidad de la aplicación como sistema de alarma de emergencias en un futuro.

---

## BIBLIOGRAFÍA

Andrew Zsinko, Shawn J. Mastrian. EP 2 801 242 B1. Electroluminescent devices and their manufacture. 2013.

Boletín Oficial del Estado. Orden FOM/1634/2013 por la que se aprueban las tarifas por los servicios prestados por la Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima. 2013.

Cesare M. Rizzo, Dario Boote. Scantling of mast and rigging of sail boats: A few hints from a test case to develop improved design procedures. 2010.

IALA AISM. E-110: Rhythmic characters of lights on aids to navigation. 2016.

IALA AISM. NAVGUIDE: Aids to navigation manual. Aids to Navigation Lights. 2014

IALA AISM. NAVGUIDE: Aids to navigation manual. Visual Aids to Navigation. 2014

IALA AISM. The E-200 series of recommendations. 2008.

International Maritime Organization. Resolution MSC.81 (70), Pyrotechnics – Rocket parachute flares, hand flares and buoyant smoke signals. 1998.

International Maritime Organization. Resolution MSC.81 (70), Rescue boats and fast rescue boats. 1998.

L. E. Tannas (Jr). Flat Panel Displays and CRTs, Van Nostrand Reinhold. 1985.

Larsson, Eliasson. Principles of yacht design. Rig construction. 2000.

Salvamento Marítimo. Misión y área de responsabilidad. 2018. (Día de consulta: 2/11/19). Disponible en: <http://www.salvamentomaritimo.es/>

TEMA 1 -Inspección de embarcaciones de recreo- Apuntes esignatura impartida en la Facultad de Náutica de Barcelona – UPC. Autor: Jordi Torralbo Gavilán – FNB-UPC.

Uriel Méndez. Dispositivos electroluminiscentes, ¿qué son y cómo funcionan?. 2016. (Día de consulta: 3/11/19). Disponible en: <https://www.330ohms.com/blogs/blog/116876548-dispositivos-electroluminiscentes-que-son-y-como-funcionan>





---

## ANEXO 1 GLOSARIO

**Canalización de cable:** sistema de recintos cerrados que comprende una base con una tapa registrable, destinado a rodear completamente a los conductores aislados, cables, cordones y para dar alojamiento a otros equipos eléctricos.

**Capacidad:** tiempo que tarda una batería en proporcionar la tensión anunciada para un aporte de corriente nominal.

**Conducto:** parte de un sistema de cableado cerrado de sección transversal circular o no circular para conductores y/o cables aislados en instalaciones eléctricas, que les permite ser retirados y/o sustituidos.

**Conductor de conexión equipotencial:** conductor que normalmente no porta corriente, utilizado para poner varias partes conductoras expuestas de los dispositivos eléctricos y las partes conductoras exteriores a un potencial sustancialmente igual.

**EL:** acrónimo de *electroluminiscente*.

**Fusible:** dispositivo de protección que interrumpe el circuito de manera irreversible cuando el flujo de corriente alcanza un valor especificado durante un tiempo específico.

**Iluminancia del observador:** la iluminancia en lúmenes por metro cuadrado (lux) o en millas marinas-candelas producida por la luz que incide en el ojo de un observador cuando esté orientado en la dirección de la luz.

**Intensidad aparente:** la intensidad luminosa de una luz fija (continua) que corresponde, en términos de brillo, con un destello de luz espectralmente similar.

**Intensidad eficaz:** la intensidad luminosa de una luz fija (continua), de la misma distribución espectral relativa que la de una luz de destellos, que tiene el mismo alcance luminoso que la luz de destellos bajo idénticas condiciones de observación.

**Luz de destellos:** una luz con una característica rítmica y repetida cuyo tiempo de «encendido» dentro del periodo de la característica es menor que el tiempo de «apagado».

**Luz de ocultaciones:** una luz con un carácter rítmico y repetido cuyo tiempo de «encendido» dentro del periodo de tal carácter es mayor que el tiempo de «apagado».

**Luz fija (continua):** una fuente luminosa continua y de una intensidad luminosa constante.

**Masa principal; punto de puesta a tierra:** punto principal o bus que suministra la conexión a la masa común para el conductor negativo en c.c., para los conductores de tierra de protección en c.a. y neutro, siempre que sea relevante, y siempre que fuese necesaria una puesta a tierra funcional.

**PEL:** acrónimo de *pintura electroluminiscente*.

**Rango visual:** distancia a la que el observador puede detectar y resolver la señal.

**Sistema de dos hilos en c.c. con masa negativa (tierra):** sistema en el que el negativo en c.c. está conectado a masa (tierra) a través de un casco metálico, el sistema de propulsión u otros medios.

**Sistema en c.c. de dos hilos completamente aislados:** sistema en el que tanto el polo positivo como el negativo permanecen aislados de masa (tierra).

**Sistema PEL:** conjunto de elementos necesarios para el funcionamiento de la pintura electroluminiscente.

**Umbral acromático:** el nivel de iluminancia en el ojo del observador en el cual, una fuente luminosa es apenas detectable; no existe discernimiento del color, ni de la duración del destello y la probabilidad de detección es muy grande, pero no muy fiable.

**Vaina:** cobertura protectora tubular uniforme y continua de material metálico o no metálico, que generalmente sobresale, alrededor de uno o más conductores aislados.

## ANEXO 2 SALVAMENTO MARÍTIMO

Unidad	Valor de T
Helicóptero	8334 €/hora
Avión	5876 €/hora
Buque Polivalente 80 m de eslora	2026 €/hora
Buque Polivalente 56 m de eslora	879 €/hora
Resto Remolcadores y Guardamares	749 €/hora
Salvamares de 15 y 21 m de eslora	350 €/hora
En los siguientes casos, el valor de T no supera el valor que se indica a continuación:	
Casos	Valor máximo de T
Remolques de embarcaciones menores de 20 m de eslora	350 €/hora
Remolque de embarcaciones entre 20 y 30 m de eslora	749 €/hora

Tabla 16 Contraprestaciones a Salvamento Marítimo 1 – BOE

Casos	Valor B
Evacuaciones médicas realizadas por un helicóptero.	0,5
Asistencias a buques de bandera española registrados en las listas 3. <sup>a</sup> y 4. <sup>a</sup> del registro marítimo español y buques de similares características que arboven pabellón de países miembros de la UE o del Espacio Económico Europeo (buques destinados a la captura y extracción con fines comerciales de pescado y otros recursos marinos vivos y embarcaciones auxiliares de pesca, de explotaciones de acuicultura y artefactos dedicados al cultivo o estabulación de especies marinas).	0,7
Resto de casos.	1

Tabla 17 Contraprestaciones a Salvamento Marítimo 2 – BOE

Año de realización del servicio	Valor de S
2013	0,8
2014	0,9
2015 y años sucesivos	1

Tabla 18 Contraprestaciones a Salvamento Marítimo 3 – BOE

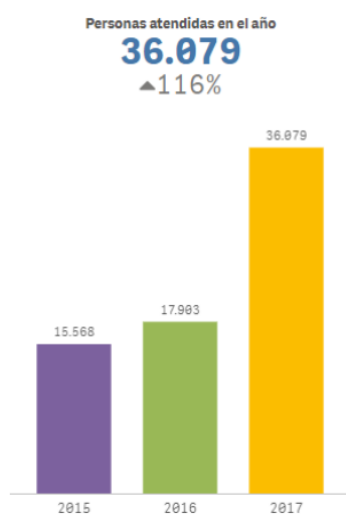


Figura 2.1 Personas atendidas en el año – SASEMAR

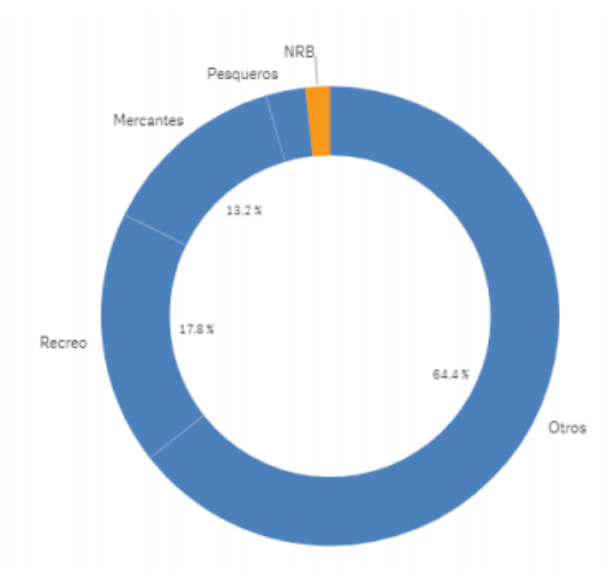


Figura 2.2 Personas atendidas por embarcación – SASEMAR

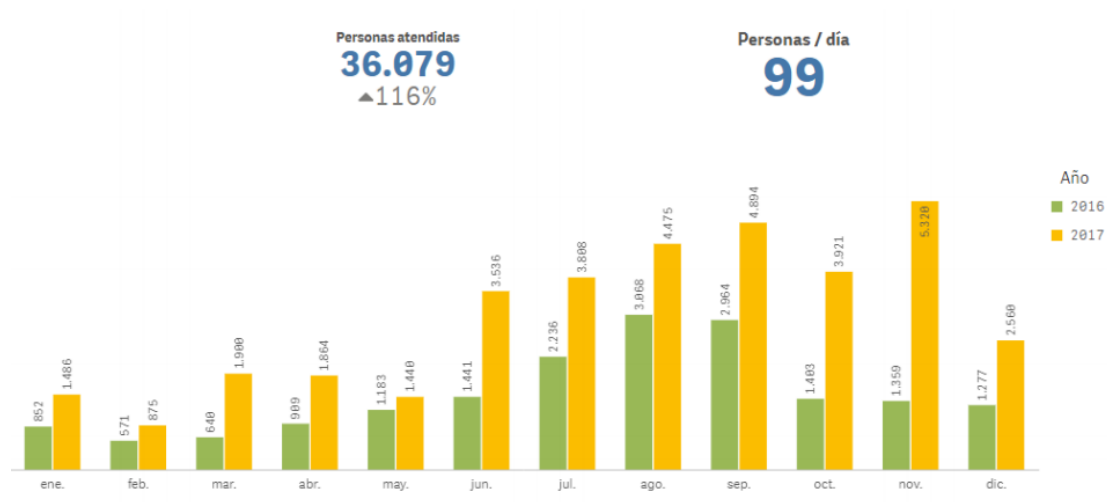


Figura 2.3 Personas atendidas en el mes – SASEMAR

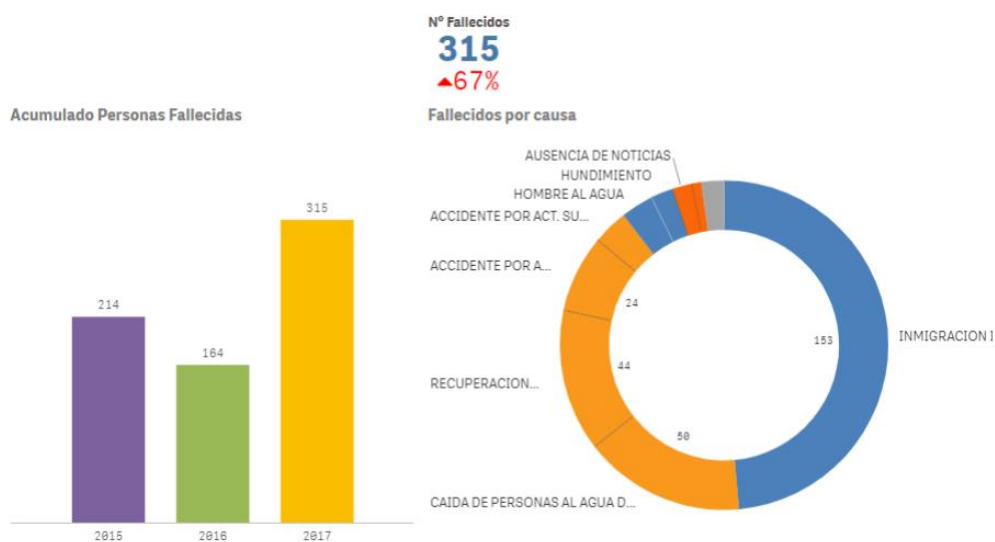


Figura 2.4 Personas fallecidas – SASEMAR

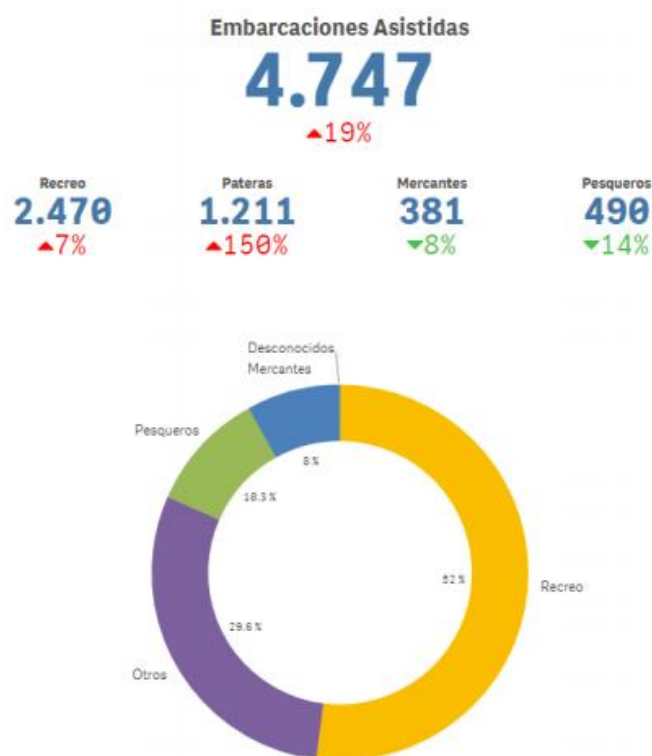


Figura 2.5 Embarcaciones asistidas – SASEMAR

MERCANTES, PESQUEROS Y EMBARCACIONES DE RECREO  
 Accidente: Abordaje, escora, colisión, hundimiento, incendio, explosión, vía de agua, vuelco, varada, hombre al agua

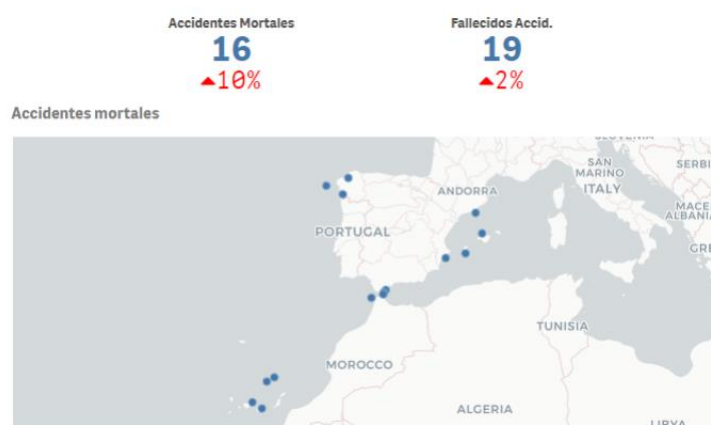


Figura 2.6 Accidentes mortales – SASEMAR

---

## ANEXO 3 H.J. ROUND

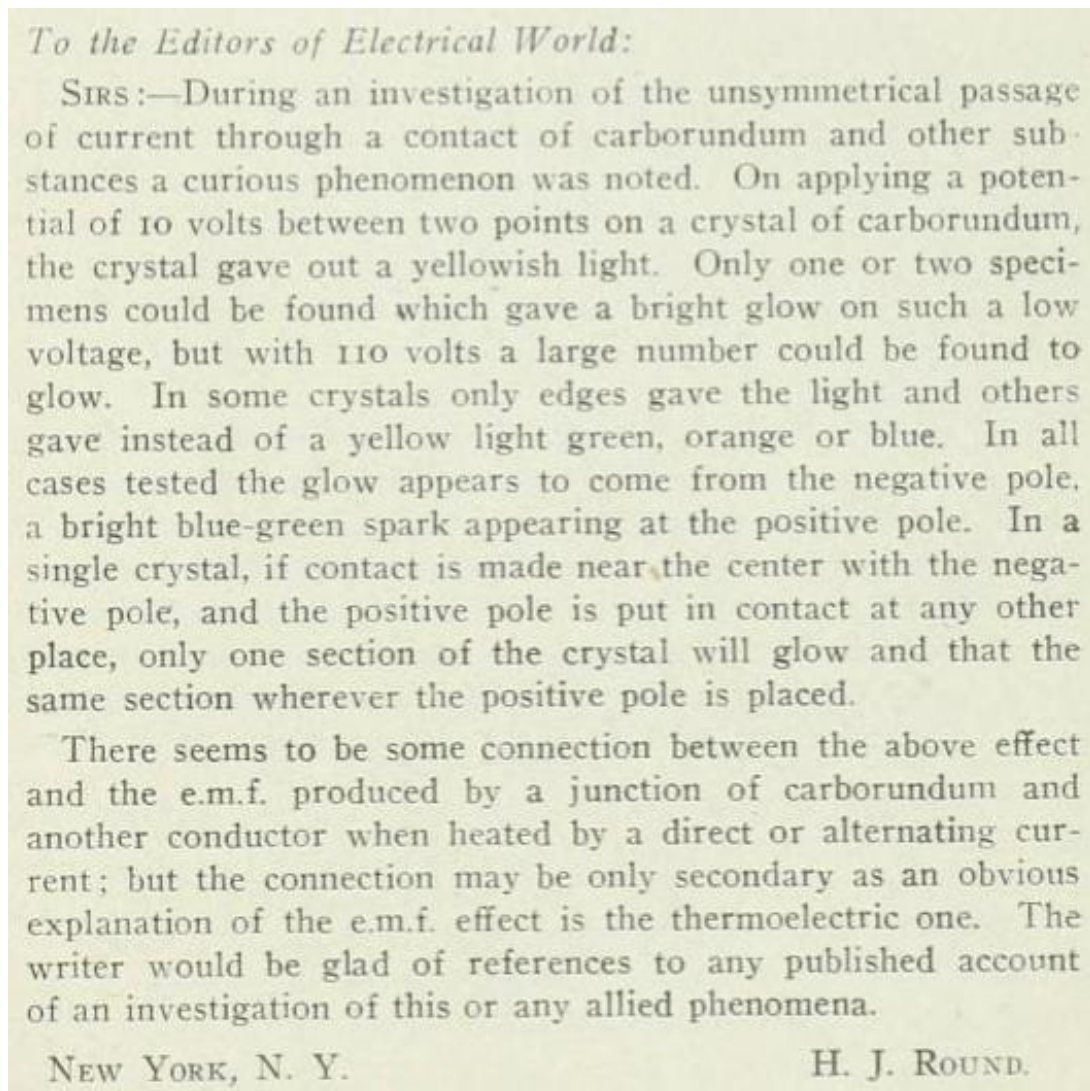


Figura 3.1 Publicación de la carta enviada por H.J. Round desde Nueva York anunciando haber observado el fenómeno de la luminiscencia – *Electrical World* (1907)





## ANEXO 4 NORMAS ISO



Figura 4.1 Señales de aviso sugeridas

AVISO - Para reducir al mínimo los riesgos de incendio y choque eléctrico:	
1	Apague el interruptor de conexión a tierra firme de la embarcación antes de conectar o desconectar el cable de alimentación de tierra firme.
2	Conecte el cable de alimentación de tierra firme a la entrada de la embarcación antes de conectarlo a la fuente de alimentación de tierra firme.
3	Si se indica que la polaridad es incorrecta, desconecte inmediatamente el cable.
4	En primer lugar desconecte el cable de alimentación de tierra firme del lado de la fuente de alimentación de tierra firme.
5	Cierre firmemente la tapa de la entrada de alimentación de tierra firme.
NO ALTERAR LOS CONECTORES DEL CABLE DE ALIMENTACIÓN DE TIERRA FIRME	

NOTA 1 El punto 3 es obligatorio sólo si está instalado un indicador de polaridad en el sistema.

NOTA 2 Los puntos 2, 4 y 5 no son necesarios para instalaciones de cables de alimentación de tierra firme permanentemente conectadas.

Figura 4.2 Señal de aviso sugerida con el texto en la lengua apropiada para el país de uso – AENOR

Área de la sección transversal mm <sup>2</sup>	Intensidad máxima admisible, en amperios, para conductores sencillos a los valores de temperatura de aislamiento						Número mínimo de hebras metálicas	
	60 °C	70 °C	85 °C a 90 °C	105 °C	125 °C	200 °C	Tipo A	Tipo B
0,75	6	10	12	16	20	25	16	–
1	8	14	18	20	25	35	16	–
1,5	12	18	21	25	30	40	19	26
2,5	17	25	30	35	40	45	19	41
4	22	35	40	45	50	55	19	65
6	29	45	50	60	70	75	19	105
10	40	65	70	90	100	120	19	168
16	54	90	100	130	150	170	37	266
25	71	120	140	170	185	200	49	420
35	87	160	185	210	225	240	127	665
50	105	210	230	270	300	325	127	1 064
70	135	265	285	330	360	375	127	1 323
95	165	310	330	390	410	430	259	1 666
120	190	360	400	450	480	520	418	2 107
150	220	380	430	475	520	560	418	2 107

Tabla 19 Área de la sección transversal de conductor, intensidad máxima admisible y número mínimo de hebras metálicas – ISO 10133 e ISO 13297

Los conductores con al menos configuración de hebra del tipo A deben utilizarse para el cableado general de la embarcación. Los conductores con configuración de hebra del tipo B deben utilizarse para cualquier cableado en el que se produzca una flexión frecuente durante el uso.

Las tablas de la Norma IEC 60092 son una alternativa a la Tabla 19.

La intensidad admisible de los conductores se puede obtener por interpolación para las áreas transversales que estén entre los valores mostrados arriba.

## ANEXO 5 DIMENSIONAMIENTO Y REGRESIONES

Como se advertía anteriormente, se ha aceptado coeficientes de correlación que implican cierta incertidumbre.

Elemento	Eslora	Elemento	Eslora	Elemento	Eslora
1	9,250	19	9,990	37	12,900
2	14,890	20	8,500	38	6,980
3	12,000	21	12,100	39	26,000
4	9,750	22	13,650	40	12,170
5	10,770	23	10,010	41	15,000
6	13,100	24	11,980	42	22,800
7	16,460	25	12,190	43	23,500
8	15,000	26	14,750	44	13,600
9	13,800	27	8,380	45	12,430
10	11,850	28	16,400	46	8,300
11	17,500	29	16,300	47	13,900
12	9,150	30	13,200	48	15,250
13	14,980	31	15,070	49	12,800
14	16,700	32	12,340	50	11,920
15	11,170	33	11,850	SUMA	671,720
16	10,950	34	18,240		
17	14,400	35	13,600	MEDIA	13,434
18	12,900	36	11,000		

Tabla 20 Muestreo aleatorio de esloras, en metros – Propia (datos obtenidos de *Cosas de Barcos*)

La Tabla 20 muestrea medidas de veleros monocascos por dos motivos. El principal es que se pretende estudiar el alcance de la pintura en el mástil de un velero, el segundo es que el francobordo de los veleros es, por lo general, menor al de las motoras, por lo que será más restrictivo respecto al rango geográfico.

Nombre embarcación	LOA (m)	Altura del mástil desde DWL (m)
Arcona 435	13,200	21,000
Bavaria Cruiser 45	13,600	20,750
Bavaria Cruiser 46	13,600	20,750
Beneteau 461	13,760	18,000
Catalina 445	13,150	19,100
Contest 45CS	13,170	21,080
Dehler 45	13,700	20,850
First 44,7	13,350	20,700
Hallberg-Rassy 43 mk II	13,570	20,200
Hanse 455	13,550	20,600
Impression 45	13,000	19,500
Maramu	13,800	17,000
Moody 45	13,720	21,800
Nauticat 42	13,000	20,000
Oceanis 45	13,500	20,600

Tabla 21 Coordenadas de los puntos de dispersión de la relación  $h_0$  (LOA) – Propia (datos obtenidos de *Boat Specs*)

Nombre embarcación	LOA	Manga	Eslora del casco	Eslora WL	$\frac{L_{casco}+L_{WL}}{2}$
Arcona 435	13,200	3,980	13,200	12,200	12,700
Bavaria Cruiser 45	13,600	4,350	13,600	12,450	13,025
Bavaria Cruiser 46	13,600	4,350	13,600	12,750	13,175
Beneteau 461	13,760	4,120	13,760	11,900	12,830
Catalina 445	13,150	4,130	13,150	11,650	12,400
Contest 45CS	13,170	4,100	13,700	11,640	12,670
Dehler 45	13,700	3,860	13,700	11,990	12,845
First 44,7	13,350	3,970	13,350	11,500	12,425
Hallberg-Rassy 43 mk II	13,570	4,080	13,570	11,750	12,660
Hanse 455	13,550	4,380	13,550	12,200	12,875
Impression 45	13,000	4,180	13,000	11,440	12,220
Maramu	13,800	4,000	13,800	10,900	12,350
Moody 45	13,720	4,200	13,720	12,200	12,960
Nauticat 42	13,000	4,000	13,000	10,350	11,675
Oceanis 45	13,500	4,500	13,500	12,980	13,240

Tabla 22 Coordenadas de los puntos de dispersión de la relación  $L_M$  (LOA) – Propia (datos obtenidos de *Boat specs*)

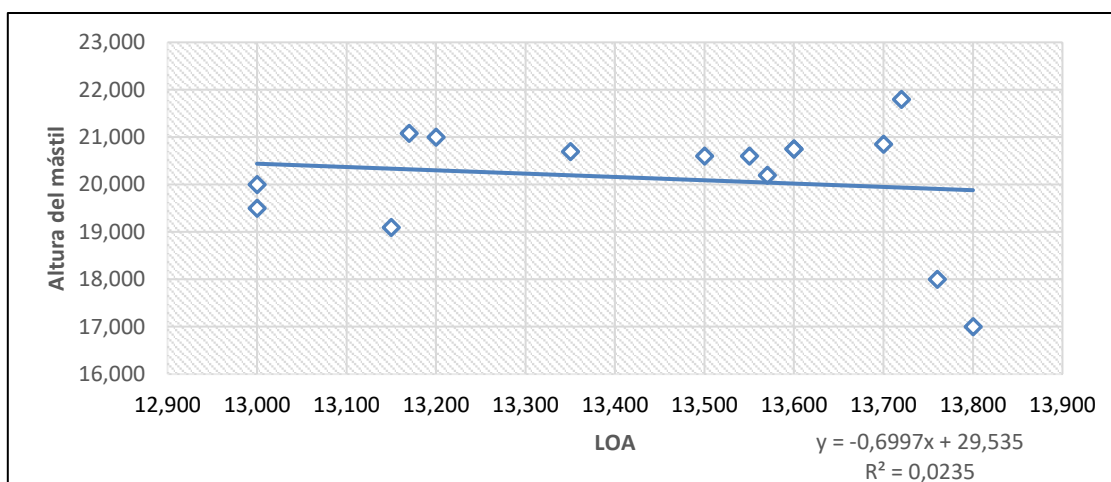


Tabla 23 Regresión  $h_{\text{mástil}}(L)$

$$h_o(13,434) = 20,135 \text{ metros}$$

$$R = 0,153$$

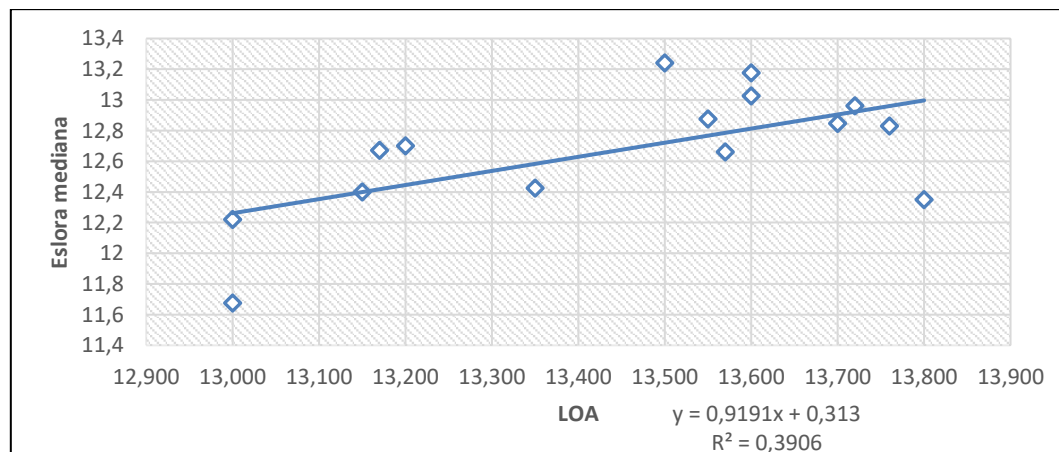


Figura 5.1 Regresión  $L_M(L)$

$$L_M(L) = 12,661\text{m}$$

$$R = 0,625$$

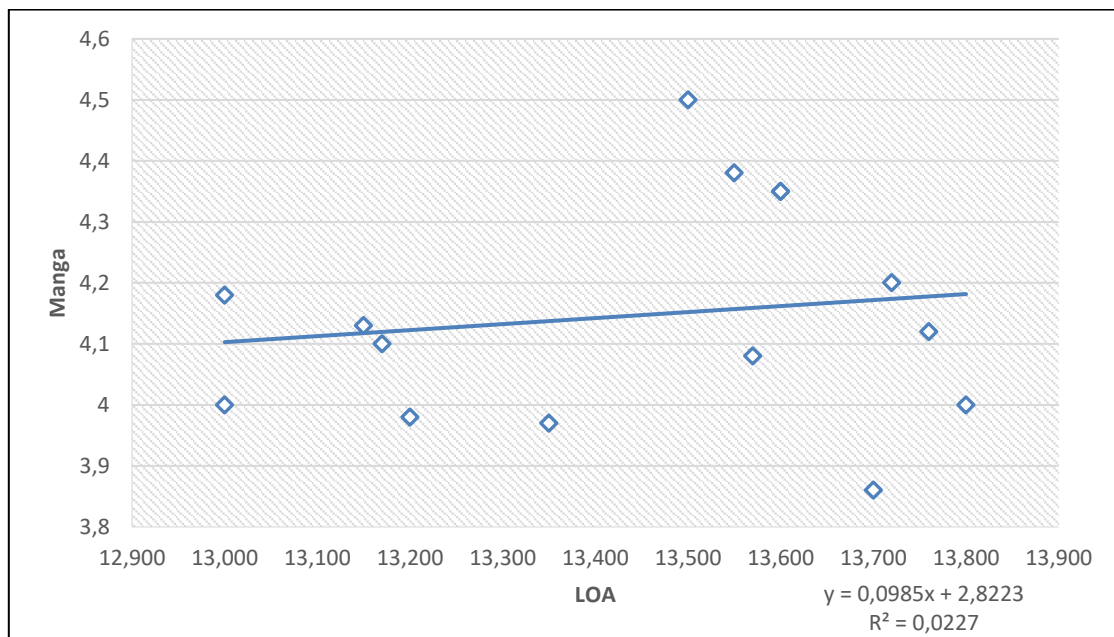


Figura 5.2 Regresión B (L)

$$B(L) = 4.146 \text{ m}$$

$$R = 0.151$$

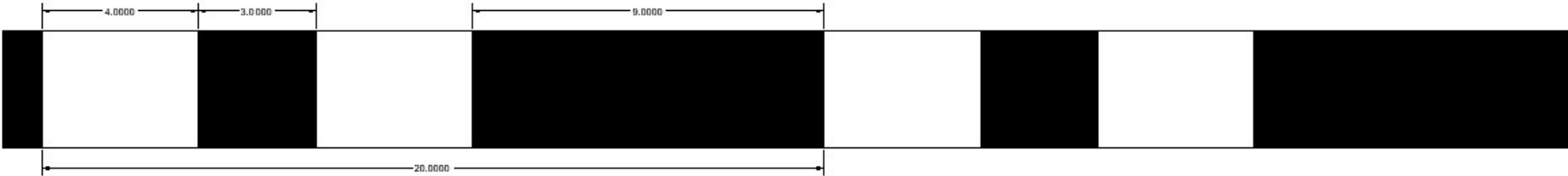
## Typical properties for aluminium extrusions

Mast	Main Dim. (mm)	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	$I_x$ (cm <sup>4</sup> )	Wall Thkn. (mm)	Weight Kg/m	$SM_y$ (cm <sup>3</sup> )	$SM_x$ (cm <sup>3</sup> )
Oval Sect.	122/85	165	75	2.45	2.43	23.6	17.6
	130/93	215	100	2.50	2.71	29.0	21.5
	138/95	287	139	2.85	3.35	35.0	29.3
	155/104	413	191	3.05	3.69	45.9	36.7
	170/115	569	260	3.10	4.11	58.1	45.2
	177/124	725	345	3.40	4.75	74.7	55.6
	189/132	956	458	3.70	5.73	89.3	69.4
	206/139	1310	613	4.10	6.44	115	88.2
	224/150	1775	830	4.50	7.32	143	111
	237/162	2360	1120	4.85	8.76	176	138
Delta Sect.	274/185	3650	1650	4.90	10.32	232	178
	121/92	205	122	3.00	3.15	28.9	26.5
	129/100	292	175	3.50	3.74	38.9	35.0
	137/113	375	250	3.90	4.21	50.0	44.2
	146/112	508	310	4.40	5.05	61.9	55.3
Furl. Sect.	160/132	750	500	5.30	6.67	80.6	75.7
	190/94	580	200	3.00	4.69	55.4	42.5
	213/104	850	290	3.15	5.45	73.2	55.7
	235/116	1240	435	3.40	6.55	97.6	75.0
	232/126	1590	605	5.00	8.71	128	96
Boom Sect.	260/136	2400	900	5.75	10.36	176	132
	290/150	3520	1300	6.00	12.63	224	173
	86/59	60	23	1.80	1.67	14.0	7.8
	120/62	155	42	1.80	2.16	24.8	13.7
	143/76	290	80	2.20	2.83	39.4	20.9
	162/125	615	330	2.80	4.75	76.0	53.0
Spinn Pole Sect.	171/94	610	170	2.80	4.03	67.7	35.7
	200/117	1190	325	2.80	5.36	112	55.5
	250/140	2410	640	3.20	6.96	185	91.4
	48/48	7.65	7.65	2.00	0.75		
	60/60	15.4	15.4	2.00	1.00		
	72/72	29.9	29.9	2.20	1.38		
Sect.	84/84	48.8	48.8	2.20	1.53		
	96/96	72.3	72.3	2.20	1.76		
	99/99	123	123	3.60	2.65		
	111/111	197	197	4.10	3.38		

Tabla 24 Secciones de mástil – Principles of yachts design



ANEXO 6 DESTELLO CARACTERÍSTICO





## ANEXO 7 CÓDIGO Y GRÁFICAS DE LA CONVOLUCIÓN

```
Ts = 0.01;  
t = 0:Ts:8;  
I = 22.435*((t>0) - (t>4));  
q=[];  
for i=0:0.01:4  
    a=0.2;  
    q=[q a/((a+i)^2)];  
end  
t2=0:0.01:4;  
q=fliplr(q);  
%Convolución  
cnv = Ts*conv(I,q,'same');  
  
subplot(3,1,1),plot(t,I), ylim([0 30]),title('I(t)'),grid on  
subplot(3,1,2),plot(t2,q,'r'), ylim([0 5]),title('q(t)'),grid on  
subplot(3,1,3),plot(t,cnv,'g'), ylim([0 30]),title('conv(I(t),q(t))'),grid on
```

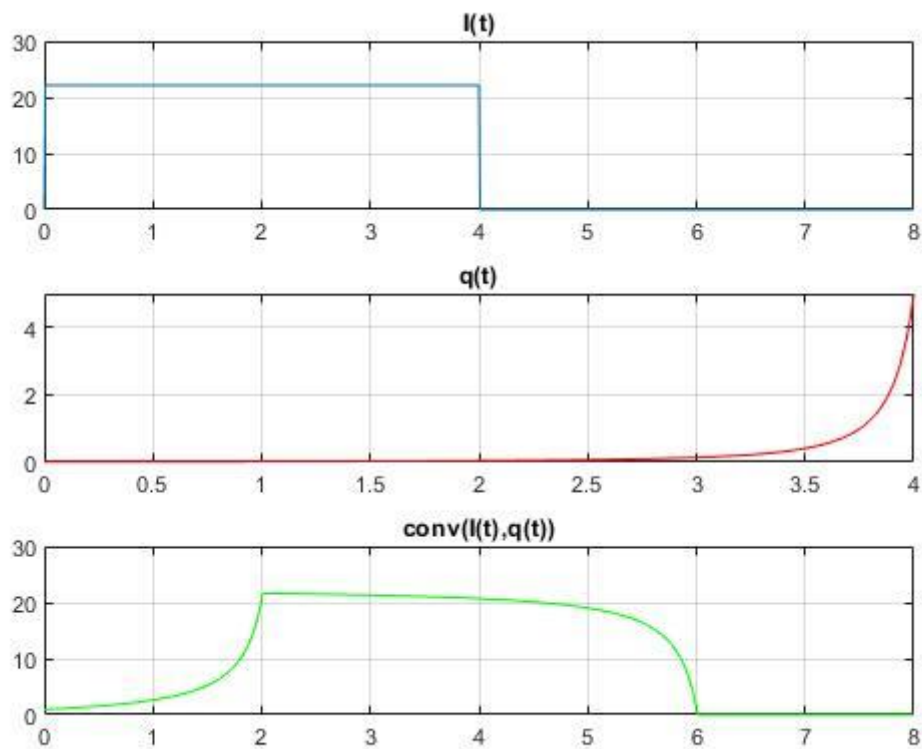


Figura 7.1 Convolución obtenida a partir de las señales  $I(t)$  y  $q(t)$ , en MATLAB



## ANEXO 8 RENDIMIENTO DE LA SEÑAL LUMINOSA

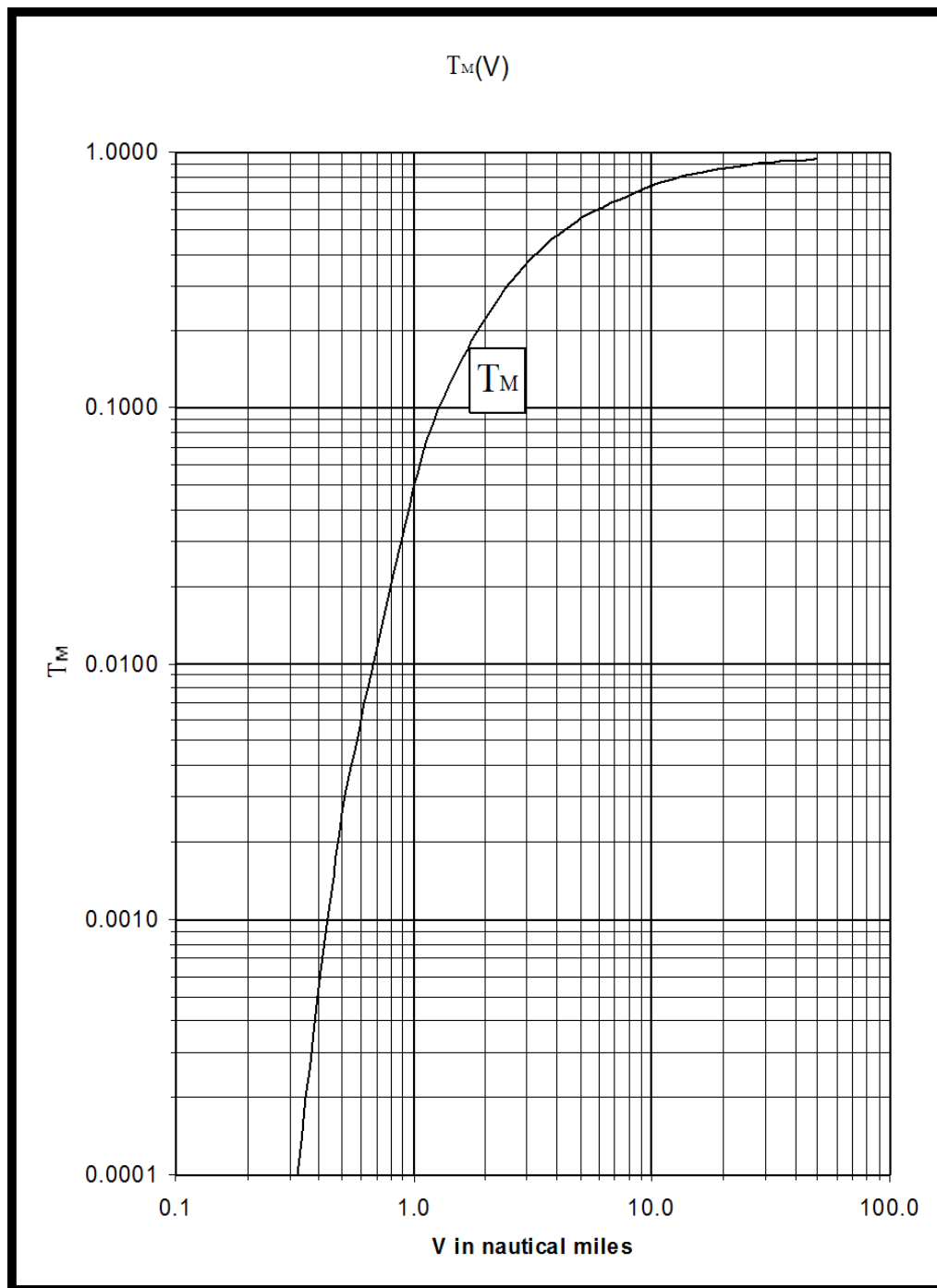


Figura 8.1 Transmisividad atmosférica  $T_M$  en función de la visibilidad meteorológica  $V$  – IALA AISM

$$V = \frac{\ln 0,05}{\ln T_M} \cdot d_U \quad T_M = 0,05^{\frac{d_U}{V}}$$

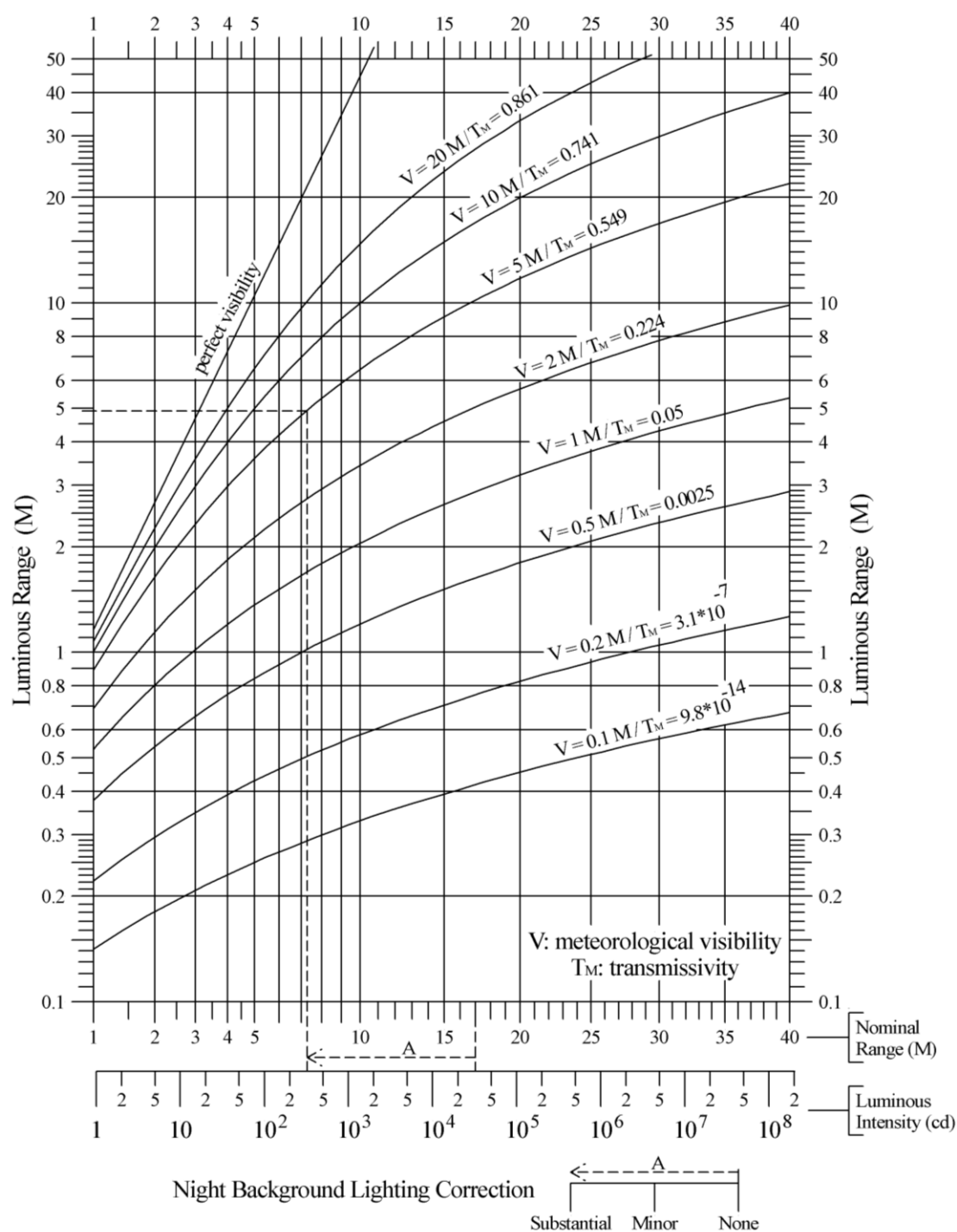


Figura 8.2 Diagrama del alcance luminoso nocturno – IALA AISM

Condición meteorológica	Luminancia en cd/m <sup>2</sup>	Iluminancia necesaria E <sub>t</sub> en 10 <sup>-3</sup> lx
Cielo nublado muy oscuro	100	0,013
Cielo nublado oscuro	200	0,024
Cielo nublado ordinario	1.000	0,107
Cielo nublado claro o cielo despejado en dirección contraria al sol	5.000	0,506
Nube clara o cielo despejado cercano a la dirección del sol	10.000	1
Nube muy clara	20.000	1,98
Nube deslumbrante	50.000	4,91

Tabla 25 Luminancia de fondo asociada a las condiciones meteorológicas – IALA AISM

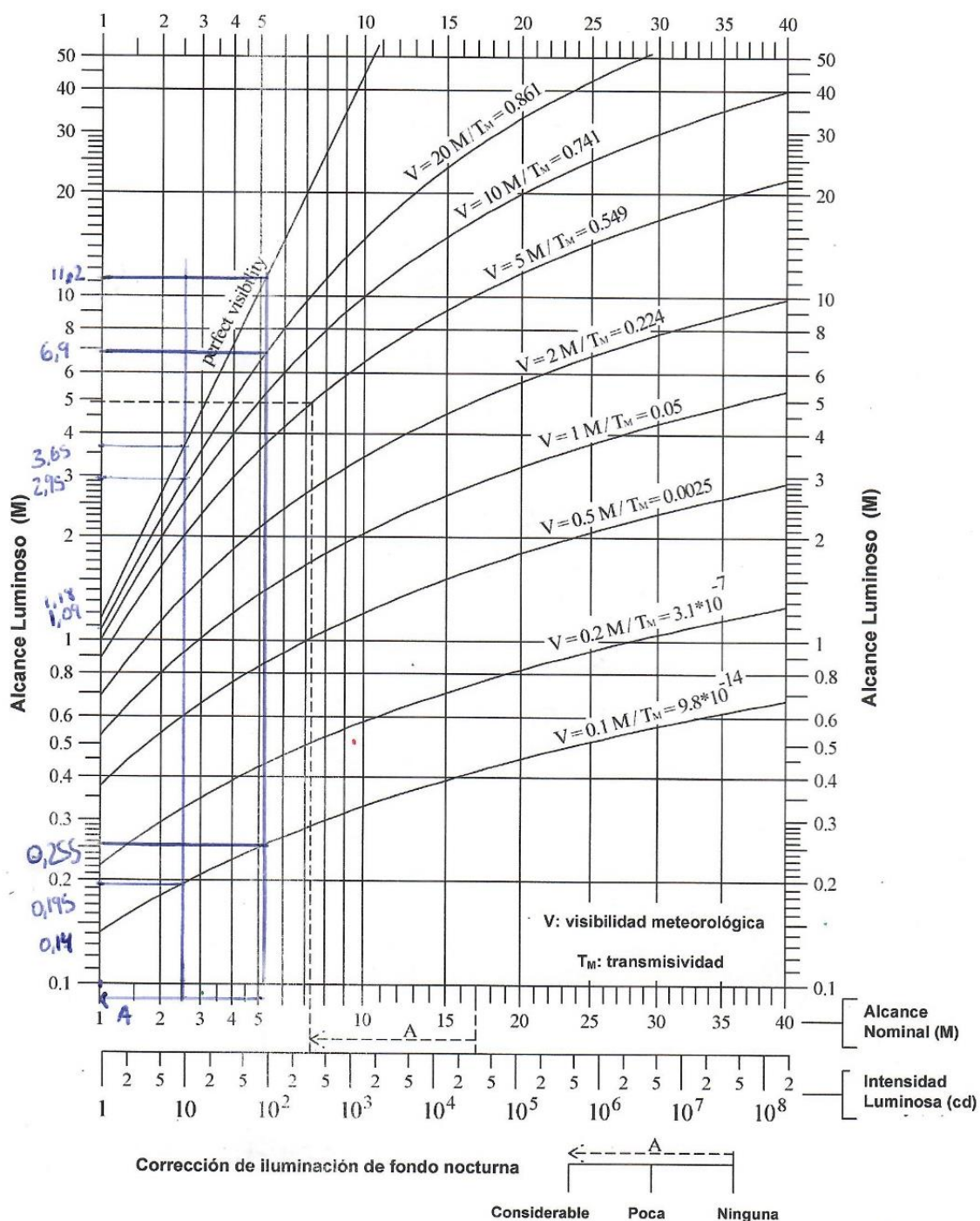


Figura 8.3 Diagrama del alcance luminoso nocturno para la PEL en desarrollo



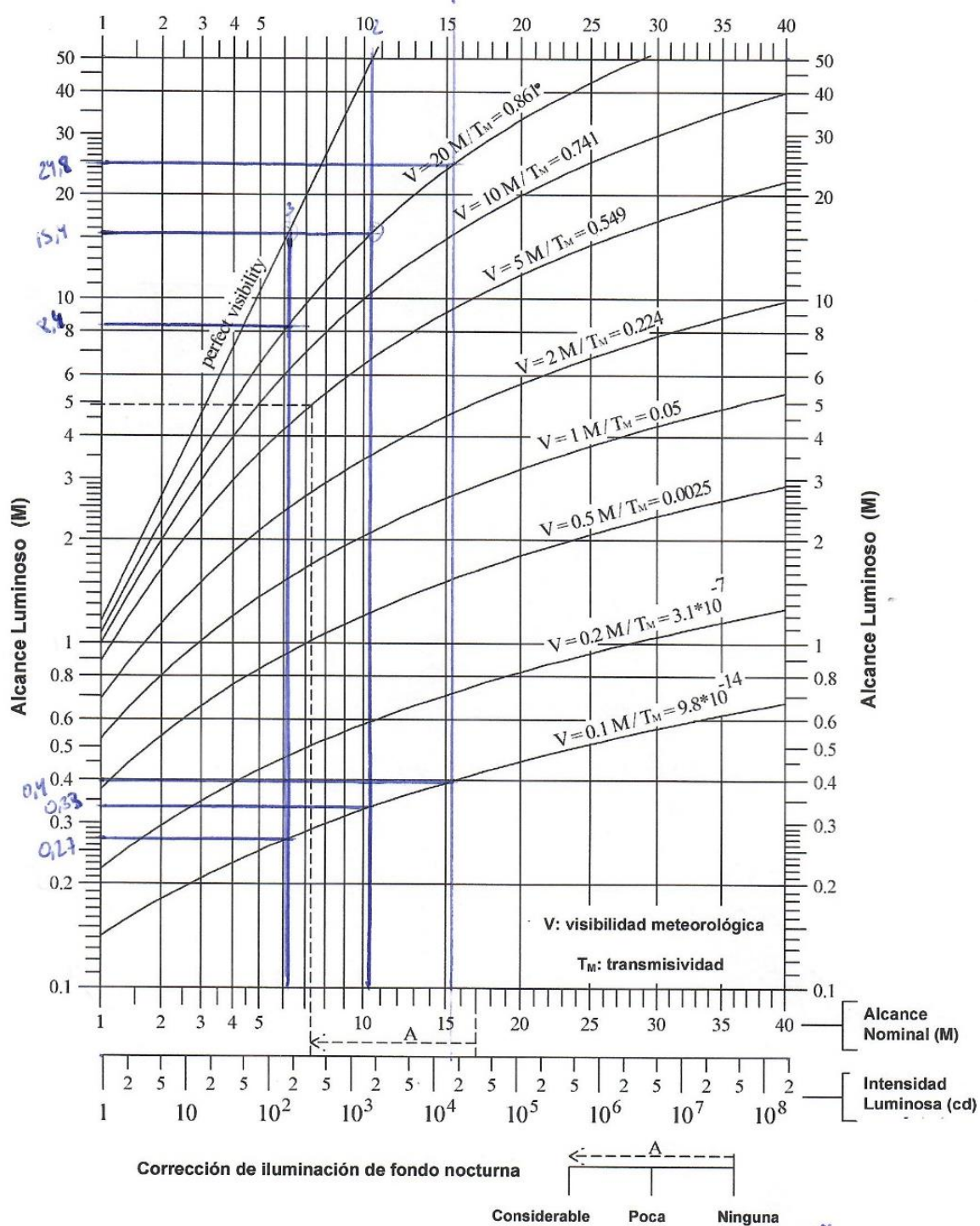


Figura 8.4 Diagrama del alcance luminoso nocturno para bengalas de mano

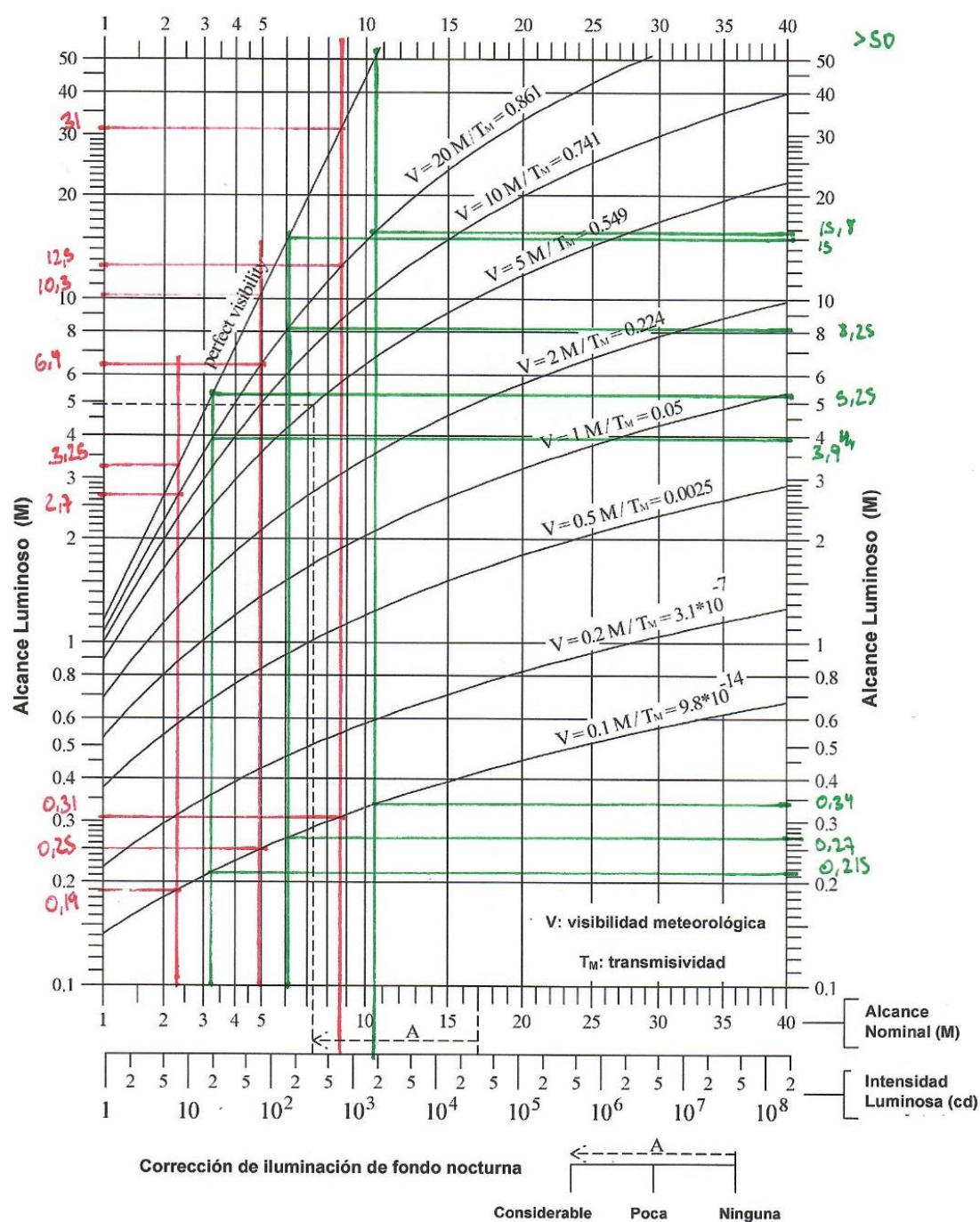


Figura 8.5 Diagrama del alcance luminoso nocturno para balsa salvavidas

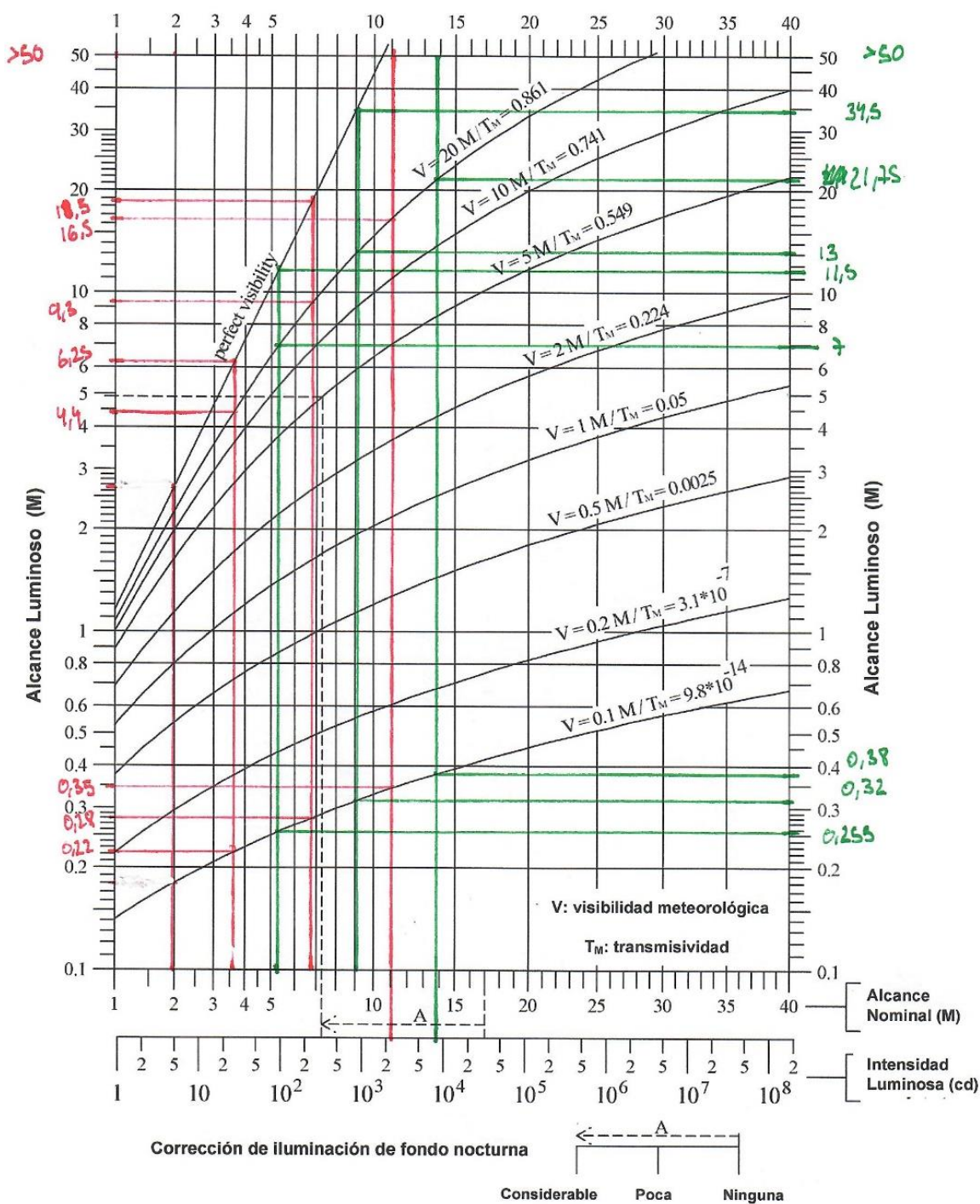


Figura 8.6 Diagrama del alcance luminoso nocturno para el casco de la embarcación



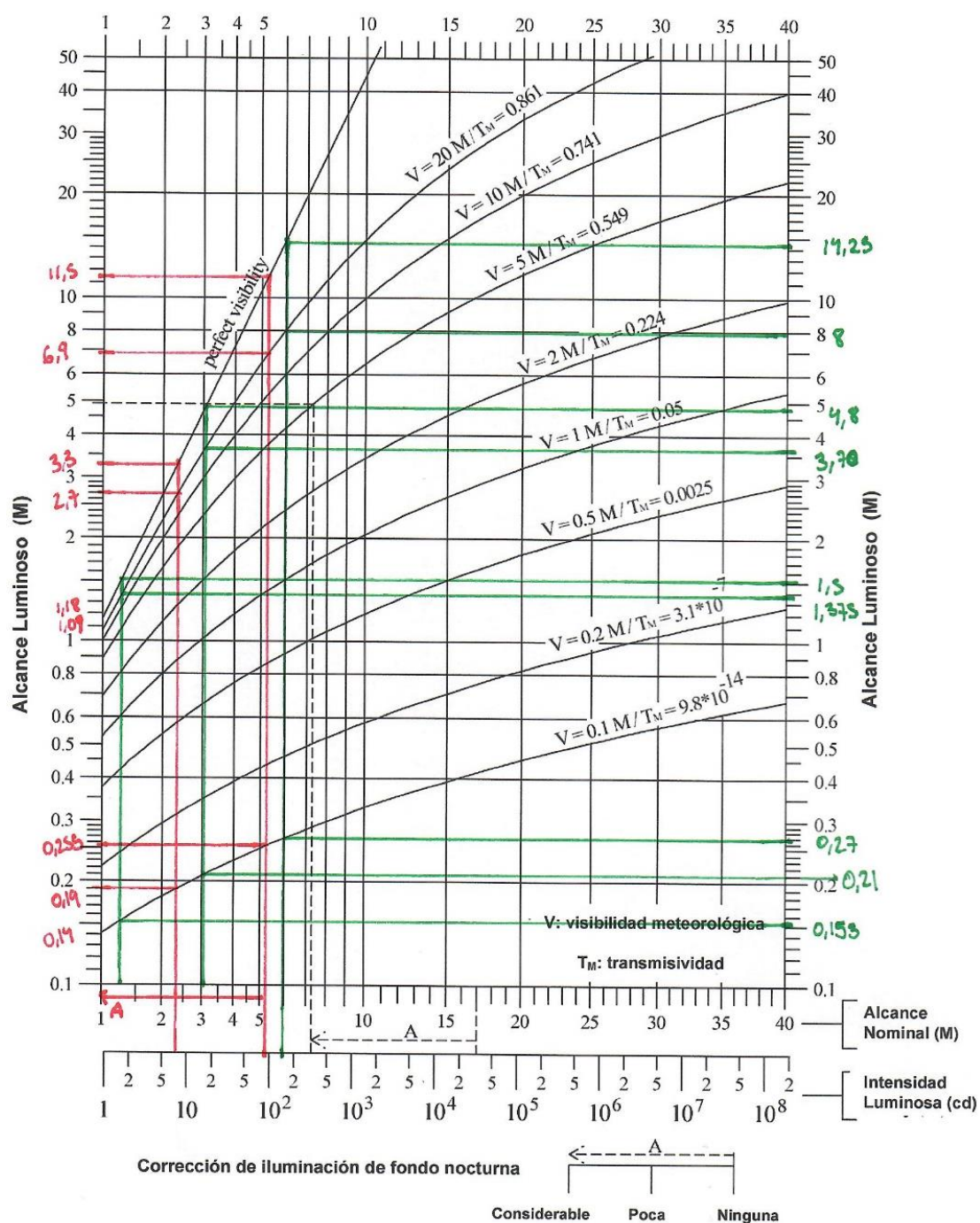


Figura 8.7 Diagrama del alcance luminoso nocturno para el mástil